ЭМС РЭС
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ

А.С. Михайлов

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭМС РЭС

ЭМС РЭС
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ



ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭМС РЭС



А.С. Михайлов

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭМС РЭС



МОСКВА · СВЯЗЬ · 1980

ББК 32.842
М69
УДК 621.391.82

Михайлов А. С.

М69 Измерение параметров ЭМС РЭС. — М.: Связь, 1980. — 200 с., ил.

75 к.

Рассмотрены вопросы измерения основных параметров, влияющих на электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств: ширины полосы радиочастот, внеполосных и побочных излучений, стабильности частоты передатчиков, напряженности электромагнитного поля, диаграмм направленности антенн, индустриальных радиопомех и параметров восприимчивости приемников. Описан принцип работы измерительных приборов, необходимых для измерения радиопомех, и даны рекомендации по их выбору. Приведены схемы измерительных установок.

Для специалистов, занимающихся решением проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, может быть полезна для студентов вузов связи.

$М\frac{30405-090}{045(01)-80}$ 28—80 2402020000 **ББК 32.842**
6Ф2.08

РЕЦЕНЗЕНТ: канд. техн. наук В. П. ПЕВНИЦКИЙ

Александр Семенович Михайлов

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭМС РЭС

Редактор С. Т. Симонова
Обложка художника А. С. Широкова
Худ. редактор А. А. Данилин
Техн. редактор Г. И. Колосова
Корректор Г. Г. Лев

ИБ № 316

Сдано в набор 25.01.80 г. Подп. в печ. 7.05.80 г.
Т-09624 Формат 60×90/16 Бумага кн.-журн. Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 12,5 Уч.-изд. л. 14,66 Тираж 12 000 экз.
Изд. № 17839 Зак. № 32 Цена 75 к.
Издательство «Связь». Москва 101000, Чистопрудный бульвар, д. 2

Типография издательства «Связь» Госкомиздата СССР
Москва 101000, ул. Кирова, д. 40

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС) является одной из острейших проблем современной радиотехники. Основным противоречием, определяющим остроту этой проблемы, является опережающее количественное и качественное развитие радиоэлектронных средств по отношению к возможности использования радиочастотного спектра.

Решением проблемы ЭМС РЭС занимаются многие коллективы научных и инженерно-технических специалистов, которые непосредственно проводят измерения параметров ЭМС РЭС или используют результаты проведенных измерений. В помощь этим специалистам предлагается данная книга, в которой сделана попытка обобщения накопленного в нашей стране практического опыта измерений параметров ЭМС РЭС. Такое назначение книги обусловило ее содержание и форму изложения материала. В книге описаны методы измерений спектральных параметров излучений радиопередающих устройств и стабильности частоты их радиопередатчиков; диаграмм направленности антенн и напряженности электромагнитного поля; индустриальных радиопомех; параметров восприимчивости радиоприемников.

Читатель познакомится с происхождением различных радиопомех и основными принципами их нормирования, с принципами работы измерительных приборов, необходимых для проведения измерений, со схемами измерительных установок и с методикой проведения измерений параметров ЭМС РЭС.

Автор выражает свою глубокую признательность рецензенту канд. техн. наук В. П. Певницкому за ряд критических замечаний и ценных предложений в процессе рецензирования рукописи книги. Автор примет с благодарностью все замечания и пожелания, которые могут улучшить книгу.

Отзывы следует направлять в издательство «Связь» по адресу: 101000, Москва, Чистопрудный бульвар, 2.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Радиочастотный спектр используется одновременно многими радиоэлектронными средствами[1] различных служб [9] (к которым относятся фиксированная, подвижная, радиовещательная, радиолокационная и другие службы), а также высокочастотными установками промышленного, научного, медицинского и бытового применения. При этом необходимо учитывать три независимые величины: ширину полосы частот, занимаемой излучением радиоэлектронного средства; напряженность электромагнитного поля в среде распространения радиоволн; время, в течение которого радиоэлектронное средство излучает электромагнитную энергию. Значения этих величин регулируются соответствующими национальными и международными организациями, что и позволяет многократно использовать радиочастотный спектр радиоэлектронными средствами различных служб.

В использовании радиочастотного спектра имеются значительные трудности, обусловленные рядом факторов. К ним относятся быстрый количественный рост радиоэлектронных средств и высокочастотных установок, тенденция к увеличению излучаемой этими средствами мощности, техническое несовершенство передатчиков и приемников, неравномерная «загрузка» некоторых полос частот спектра и другие.

Необходимость преодоления этих трудностей и более эффективного использования радиочастотного спектра привела к развитию в самостоятельное направление радиоэлектроники новой области — *электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств* (ЭМС РЭС), под которой следует понимать [1] способность радиоэлектронных средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и не создавать

---

[1] *Радиоэлектронное средство* (РЭС) — техническое средство [1], состоящее из одного или нескольких радиопередающих и (или) радиоприемных устройств и вспомогательного оборудования. К РЭС относятся радиостанции, радиолокационные и радионавигационные станции и т. д.

Радиопередающее устройство — техническое устройство, состоящее из радиопередатчика и антенно-фидерной системы и предназначенное для передачи сигнала посредством радиоволн. *Радиоприемное устройство* — техническое устройство, состоящее из радиоприемника и антенно-фидерной системы и предназначенное для приема сигнала, передаваемого посредством радиоволн.

Для краткости текста слово «радио» в указанных выше терминах, где их применение не вызывает иного толкования, опущено.

недопустимых радиопомех другим радиоэлектронным средствам. Основные пути решения этой сложной технической проблемы — рациональное использование радиочастотного спектра; научно обоснованное, с учетом технических параметров и принципов использования РЭС, присвоение рабочих частот; уменьшение уровней электромагнитных помех, создаваемых при работе РЭС; снижение восприимчивости приемных устройств к электромагнитным помехам и другие организационные и технические меры.

Электромагнитной помехой называют [1] нежелательное воздействие электромагнитной энергии, которое ухудшает либо может ухудшить показатели качества функционирования РЭС. Электромагнитная помеха в полосе радиочастот называется *радиопомехой*.

Основным содержанием проблемы ЭМС РЭС является снижение радиопомех, которые в зависимости от источников происхождения делятся на три группы. К первой группе относятся радиопомехи от излучения РЭС, ко второй — индустриальные радиопомехи и к третьей — радиопомехи естественного происхождения.

Из первых двух групп в книге рассматриваются непреднамеренные радиопомехи, создаваемые источниками искусственного происхождения, не предназначенные для нарушения функционирования РЭС. По интенсивности воздействия на РЭС эти радиопомехи подразделяют на допустимые и недопустимые. К допустимым относят радиопомехи такой интенсивности, при которой сохраняется требуемое качество функционирования РЭС. Радиопомехи, которые снижают качество функционирования РЭС ниже допустимого, считаются [1] недопустимыми радиопомехами.

Наиболее распространенными радиопомехами, с которыми приходится встречаться при решении вопросов ЭМС РЭС, являются *излучения передающих устройств*. Они условно делятся на *основные, нежелательные и шумовые*. Основное излучение находится в пределах необходимой полосы радиочастот, за которую принята минимальная ширина полосы частот для данного класса излучения (см. § 1.1), достаточная для обеспечения передачи информации с такой скоростью и такого качества, которые требуются в определенных условиях. Все остальные излучения, находящиеся за пределами необходимой полосы радиочастот, относятся к нежелательным и подразделяются на внеполосные и побочные излучения. Нежелательные излучения относятся во всех случаях к радиопомехам. Они рассмотрены в последующих главах книги.

Основное излучение передающего устройства может быть радиопомехой другим РЭС при неправильном присвоении рабочих частот этим РЭС, а также при несоблюдении установленных технических правил их эксплуатации. Кроме того, основное излучение по специфическим причинам распространения радиоволн некоторых диапазонов, которые здесь не рассматриваются, может достигать непланируемых точек пространства или территории и создавать в них радиопомехи другим РЭС, использующим эти же

частоты. Этот вид радиопомех, которые для других РЭС являются полезными сигналами, несущими передаваемую информацию, и мешающее действие которых определяется суммированием с полезным сигналом, называют аддитивными радиопомехами.

К индустриальным радиопомехам относятся излучения, возникающие при работе электротехнических устройств, высокочастотных установок, систем зажигания двигателей внутреннего сгорания, средств транспорта с электрической тягой, электронно-вычислительных машин, средств проводной связи и других систем и устройств, работающих с резкими изменениями значений тока. К индустриальным радиопомехам относятся также излучения передающих устройств помимо антенны (через стенки кожуха передатчика, от вспомогательного оборудования и т. д.), излучения гетеродинов, генераторов строчной развертки, электронных селекторов и других частей приемника. Причем радиопомехи от приемного устройства могут излучаться антенной или распространяться по цепям питания и коммутации, а все виды индустриальных радиопомех могут воздействовать на приемное устройство через его антенну, а также по цепям питания и коммутации одновременно.

Естественные радиопомехи образуются в результате теплового излучения Земли, ее атмосферы, включая излучения молекулярного кислорода и водяного пара, а также в результате галактического или солнечного излучений. Естественные радиопомехи возникают при атмосферных грозах, магнитных возмущениях ионосферы и других аномальных атмосферных, ионосферных, галактических или солнечных явлениях.

В общем случае все радиопомехи оказывают вредное влияние на нормальную работу приемного устройства, которое одновременно с приемом основного радиосигнала, несущего полезную информацию, может принимать другие сигналы. При создании современных приемников принимается ряд технических мер защиты от радиопомех. Эти меры характеризуют восприимчивость радиоприемного устройства, его свойство реагировать на радиопомехи, воздействующие через антенну и помимо нее, в том числе через экран, по цепям питания, управления и коммутации [1].

Восприимчивость радиоприемного устройства определяется несколькими техническими характеристиками, которые рассмотрены в литературе (например, [43]). Измерению параметров восприимчивости приемников посвящена гл. 8 книги.

Рассмотренные здесь радиопомехи, за исключением естественных, а также параметры восприимчивости приемников для обеспечения ЭМС РЭС нормируются во внутрисоюзном и международном масштабах.

Международное нормирование осуществляют Международный союз электросвязи (МСЭ) (по радиопомехам и параметрам восприимчивости) и Международный электротехнический комитет (по индустриальным радиопомехам), которые являются специальными органами Организации Объединенных Наций. Советский Союз является членом этих организаций и принимает активное участие

в их работе. Кроме того, стандарты и рекомендации в этой области разрабатываются в рамках СЭВ.

Определение и осуществление единой технической политики в области нормирования параметров радиоизлучения и приема РЭС и индустриальных радиопомех в нашей стране проводит Государственная комиссия по радиочастотам СССР, которая организует разработку, утверждает и контролирует соблюдение общесоюзных норм на эти параметры. Требования общесоюзных норм учитываются при разработке государственных стандартов на соответствующие параметры РЭС и источники индустриальных радиопомех.

В настоящее время утверждены общесоюзные нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные спектры излучений передающих устройств, на уровни побочных излучений, допустимые отклонения частоты радиопередатчиков, на некоторые параметры избирательности приемников и на другие параметры радиоизлучения и приема, влияющие на обеспечение ЭМС РЭС. Нормировано в общесоюзном масштабе большинство источников индустриальных радиопомех.

Основной целью нормирования является повышение эффективности использования радиочастотного спектра и защита радиоприема от радиопомех. Главным принципом при этом является снижение уровней радиопомех непосредственно в источниках их возникновения, что обеспечивает достаточную защиту конкретного вида радиоприема от радиопомех. В то же время принимаемые технические меры по снижению радиопомех не должны вызывать существенного удорожания РЭС.

Другим принципом является защита конкретного вида приема от радиопомех. Нерационально, скажем, иметь одни и те же нормы для защиты радиовещания и радиосвязи от индустриальных радиопомех хотя бы потому, что радиовещательные приемники имеют более низкую чувствительность, чем приемники радиосвязи. Поэтому действующие Общесоюзные нормы допускаемых индустриальных радиопомех 1-72—9-72 разработаны с учетом защиты от индустриальных радиопомех радиовещания и телевидения, а аналогичные нормы 15-78 — для защиты приемников радиосвязи, радиолокации, радионавигации и высокочувствительных приемников других служб. Необходимо, чтобы эти нормы отличались не только допускаемыми величинами радиопомех, но и применяемой для контроля норм измерительной аппаратурой, которая должна быть более чувствительной к таким сигналам, которые по частоте и форме огибающей близки к сигналам, применяемым в защищаемом виде радиоприема.

Общесоюзные нормы на побочные излучения передатчиков и на ширину полосы радиочастот и внеполосные спектры передатчиков разработаны с целью снижения (на 40...60 дБ) относительно мощности основного излучения уровней мощности внеполосных и побочных излучений. Эти нормы отличаются методами измерения контролируемых параметров. Следует отметить также,

что даже одни и те же нормы на параметры побочных излучений контролируются различными методами измерений, в зависимости от того, как заданы эти параметры в нормах. Например, нормированные величины могут быть заданы путем ограничения мощности побочных колебаний в фидере. В этом случае по прямым измерениям мощности побочных колебаний в фидере определяют расчетным путем значения мощности побочных излучений.

Необходимо отметить, что методы измерений одних и тех же параметров радиоизлучения и приема РЭС с целью контроля выполнения общесоюзных норм соответствуют международным методам и методам, принятым в ГОСТ. При этом рекомендуется применять определенные типы измерительных приборов, имеющих сопоставимые технические характеристики.

Измерение радиопомех — это сложный познавательный процесс. Он основан на опытном сравнении измеряемой величины с некоторым ее значением, принятым за единицу. Измерения радиопомех проводят в определенных условиях, определенными измерительными приборами и по заранее выбранным методикам.

Чтобы правильно провести измерение параметров радиопомех, не ошибиться в выборе методики измерения в соответствии с поставленной задачей и особенностями измеряемого объекта, нужно хорошо знать принципы работы измерительных приборов, четко представлять, от чего зависит точность измерений, уметь применять измерительную аппаратуру в конкретных условиях и учитывать погрешности измерений.

Рассмотрению этих вопросов посвящается данная книга.

Глава первая

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

1.1. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЙ

В области теоретических исследований спектра, а также в решении практических задач уменьшения ширины занимаемой полосы частот с целью более эффективного использования радиочастотного спектра советские ученые и специалисты давно занимают ведущее место. Исследования спектров, начатые еще в 1917 г. Н. Н. Андреевым, были с большой пользой для развития теории спектрального анализа продолжены Л. И. Мандельштамом, Г. С. Гореликом, С. М. Рытовым, а позднее А. А. Харкевичем и М. С. Гуревичем. В области решения практических задач ограничения ширины занимаемой полосы частот, снижения уровней внеполосных излучений большое значение имеют труды А. Л. Бадалова, А. И. Зудакина, А. П. Павлюка, Н. Н. Ильиной и др. В ряде статей [6—8] обоснована новая система определений и сформулированы принципы нормирования спектральных параметров, дано описание разработанных авторами измерителей ширины занимаемой полосы частот и внеполосных спектров излучений.

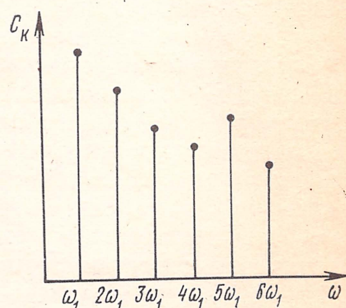


Рис. 1.1. Графическое изображение спектра

При рассмотрении вопросов измерения спектральных параметров излучений радиопередающих устройств целесообразно воспользоваться основными теоремами и определениями спектральной теории [3, 4]. Из этой теории известно, что периодическую функцию с периодом T можно представить в виде ряда Фурье

$$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_к \cos(k\omega_1 t - \varphi_к), \tag{1.1}$$

где $\omega = 2\pi/T$; $c_к$ — спектр амплитуд; $\varphi_к$ — спектр фаз. Спектр можно изобразить графически в виде отдельных гармоник вертикальными отрезками (рис. 1.1). Если функция $f(t)$ непериодическая, то спектр можно представить в виде прямого преобразования Фурье функции $f(t)$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\, e^{-i\omega t}\, dt. \tag{1.2}$$

Если в (1.2) время наблюдения процесса ограничить начальным временем t_0 и текущим t, то получаем *текущий спектр*

$$S_t(\omega) = \int_{t_0}^{t} f(t)\, e^{-i\omega t}\, dt. \qquad (1.3)$$

Свойства процесса в данный момент времени на отрезке длительностью T определяются *мгновенным спектром*

$$S_T(\omega,\ t) = \int_{t-T}^{t} f(\tau)\, e^{-i\omega\tau}\, d\tau. \qquad (1.4)$$

При измерении спектральных параметров излучений передатчиков, как правило, приходится иметь дело со спектрами модулированных колебаний, аналитическое выражение которых в общем виде записывается как

$$x = c_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \qquad (1.5)$$

где c_0 — амплитуда; ω_0 — частота; φ_0 — начальная фаза.

Модулируя одну из трех постоянных величин, получают амплитудную (АМ), частотную (ЧМ) или фазовую (ФМ) модуляцию. В качестве колебания несущей частоты может быть использовано непрерывное или импульсное излучение.

Следует указать, что амплитудная модуляция излучения основной несущей частоты в принятой [9] системе классификации обозначается буквой A, частотная или фазовая — F, импульсная — P.

Следующим классификационным признаком является *тип передачи информации*. Отсутствие какой-либо модуляции, предназначенной для передачи информации, обозначается нулем; телеграфия без использования модулирующей звуковой частоты — 1; телеграфия посредством амплитудной манипуляции — 2; телефония (включая радиовещание) — 3; факсимиле — 4; телевидение (изображение) — 5; четырехчастотная двухканальная телеграфия — 6; многоканальная тональная телеграфия — 7 и все неперечисленные случаи — 9.

Буквами, следующими за этой цифрой, обозначаются дополнительные характеристики. Если передающее устройство излучает одну боковую полосу частот с ослабленной несущей, то такое излучение обозначается буквой A; излучение с полной несущей — H; с подавленной несущей частотой — J; две независимые боковые полосы — B; частично подавленная боковая полоса — C; импульсная модуляция по амплитуде — D, по ширине (или длительности) — E, по фазе (или положению) — F; кодово-импульсная модуляция — G. При двух боковых полосах не ставится никакого знака. Классификация типичных излучений приведена в приложении 1.

В соответствии с теорией спектрального анализа [3, 4] полезная информация, которую необходимо передать с помощью излучения передающим устройством, сосредоточена не во всех спектральных составляющих передаваемого сигнала. Можно без осо-

бого ущерба для потери информации передавать не весь спектр сигнала, который в теоретическом плане может быть бесконечным, а только его определенную часть, которая соизмерима с необходимой шириной полосы радиочастот [2].

Необходимая ширина полосы радиочастот — это минимальная ширина полосы частот для данного класса излучения, достаточная для обеспечения передачи сигнала с требуемыми скоростью и качеством, которые определяются при проектировании передатчика в соответствии с его функциональным назначением.

Необходимая ширина полосы частот для каждого класса излучения является исходным спектральным параметром. Она рассчитывается по формулам, рекомендуемым МККР, которые вместе с примерами расчета приведены в приложении 1.

Та часть спектральной плотности мощности излучения (или спектра мощности, когда он состоит из дискретных составляющих), которая находится за пределами необходимой ширины полосы частот, за исключением побочных излучений, называется *внеполосным спектром*, а излучение на частоте или частотах внеполосного спектра — *внеполосным излучением*. Характерными величинами внеполосного спектра являются координаты начальных точек (рис. 1.2) и скорости убывания.

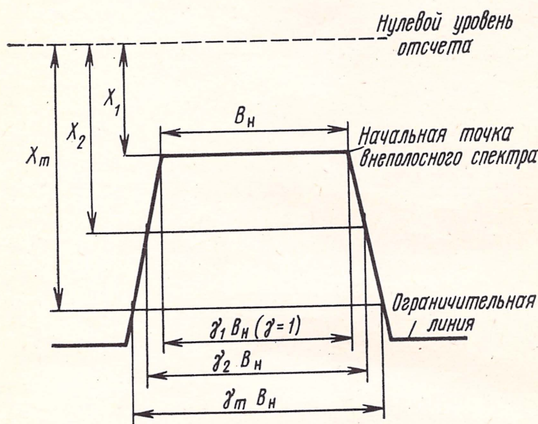


Рис. 1.2. Основные параметры аппроксимированного спектра

На рис. 1.2 внеполосный спектр аппроксимирован ограничительной линией на плоскости координат уровень — частота. Ограничительная линия спектра внеполосного излучения устанавливается для каждого класса излучения и является верхней границей максимально допустимых значений уровней составляющих спектра внеполосного излучения относительно заранее заданного исходного уровня 0 дБ. В зависимости от ограничительной линии внеполосного спектра определяется допустимый уровень средней

мощности, излучаемой на частотах, лежащих выше и ниже граничных частот необходимой ширины полосы частот $B_н$. Допустимый уровень внеполосного излучения выражается в виде процентной величины β от общей средней излучаемой мощности.

Как указывалось выше, необходимая ширина полосы частот является величиной расчетной. В действительности передающее устройство излучает, как правило, более широкую полосу частот, которую называют [2] *шириной занимаемой полосы частот,* ниже нижней и выше верхней граничной частоты которой средние излучаемые мощности равны каждая определенной процентной величине β/2 от общей средней мощности излучения. Величина β/2 устанавливается для каждого класса излучения.

За среднюю мощность излучения принята излучаемая антенной нормально работающего передатчика мощность, измеряемая в те-

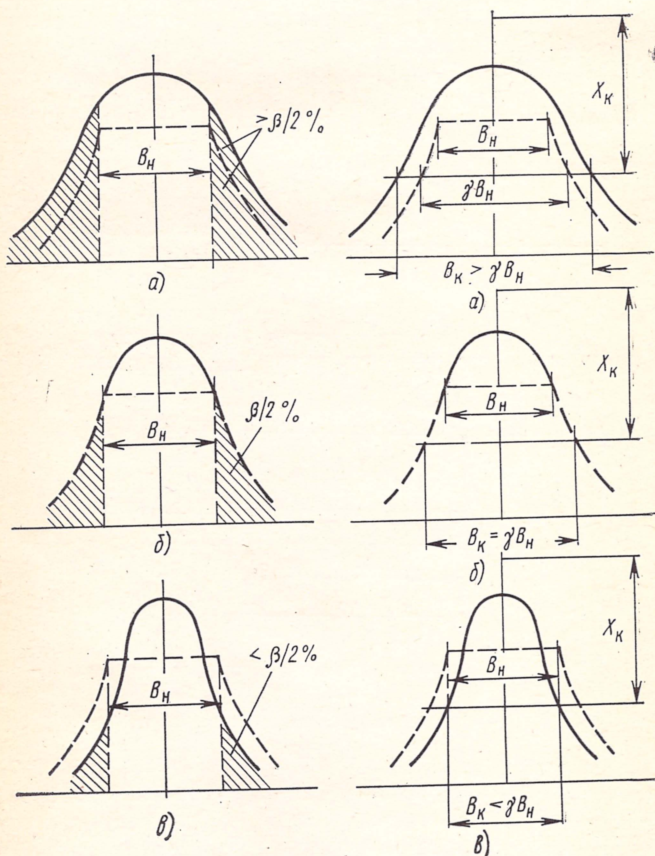


Рис. 1.3. К оценке оптимальности излучения по внеполосному изучению

Рис. 1.4. К оценке оптимальности излучения по ширине полосы частот на уровне X дБ

чение времени достаточно длительного по сравнению с периодом наиболее низкой модулирующей частоты. Обычно выбирают промежуток времени 0,1 с, в течение которого средняя мощность излучения остается постоянной.

Для измерения ширины занимаемой полосы частот введено определение ширины полосы частот радиоизлучения на уровне X дБ (рис. 1.2), за пределами нижней и верхней границ которой любая дискретная составляющая линейчатого спектра (1.1) или спектральная плотность мощности сплошного спектра (1.2) имеет уровень ослабления X дБ относительно заранее заданного исходного уровня 0 дБ.

Следовательно, основными спектральными параметрами излучения являются необходимая ширина полосы частот $B_{н}$, ограничительная линия внеполосного спектра, допустимый уровень внеполосного излучения, ширина занимаемой полосы частот $B_{з}$ и ширина полосы частот радиоизлучения на уровне X дБ B_X. Эти параметры позволяют оценивать излучение передающего устройства с точки зрения экономичности радиочастотного спектра. Для наглядности на рис. 1.3 показана оценка спектра путем сопоставления мощности внеполосного излучения $\beta/2\%$ и ограничений на необходимую ширину полосы частот $B_{н}$. На рис. 1.4 приведена оценка спектра по ширине полосы частот радиоизлучения на уровне X дБ, которая совпадает с контрольной полосой частот $B_{к}$ (см. § 1.2). По оси абсцисс отложена частота, по оси ординат —мощность на единицу частоты. На рис. 1.3*а* и 1.4*а* полоса частот излучения шире оптимальной; на рис. 1.3*б* и 1.4*б* — оптимальная, на рис. 1.3*в* и 1.4*в* — у́же оптимальной. Основные спектральные параметры излучений нормируются общесоюзными нормами.

1.2. ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЙ

Нормирование ширины занимаемой полосы частот в нашей стране начато с 1961 г., когда были утверждены общесоюзные нормы на этот параметр. В 1966 г. эти нормы были пересмотрены и уточнены. С января 1976 г. Государственная комиссия по радиочастотам СССР ввела в действие третье поколение общесоюзных норм на ширину занимаемой полосы частот, которыми впервые стали нормироваться внеполосные спектры излучений [2].

В качестве основных исходных данных при нормировании спектральных параметров радиоизлучений приняты: необходимая ширина полосы частот, допустимая ширина внеполосного спектра и допустимая мощность внеполосного излучения, которая определяется по ограничительной линии для внеполосного спектра. Непосредственно по форме ограничительной линии нормируется форма внеполосного спектра, а по интегральной относительной мощности под ограничительной линией (см. рис. 1.3) — допустимая мощность внеполосного излучения.

За основную нормируемую и контролируемую величину принята ширина контрольной полосы частот на фиксированном уровне для всех классов излучения, равная —30 дБ ($X_к = -30$ дБ) относительно заданного исходного уровня 0 дБ (см. рис. 1.4). Выбор фиксированного уровня $X_к$ обусловлен, в первую очередь, удобствами измерения ширины контрольной полосы частот всеми видами анализаторов спектра, а также тем, что отсчитываемая на этом уровне ширина контрольной полосы частот хорошо отражает качественные показатели излучения передающего устройства.

Излучение будет удовлетворять норме (см. рис. 1.3*б*, *в* и 1.4*б*, *в*), если

$$B_X \leqslant \gamma B_н, \tag{1.6}$$

где γ — коэффициент, определяемый значением измерительного уровня X дБ и соответствующей ограничительной линией для внеполосного спектра.

В том случае, когда измерительный уровень выбран так, что он совпадает с ординатой начальной точки ограничительной линии для внеполосного спектра,

$$\gamma = 1 + \delta, \tag{1.7}$$

где δ — наибольший допуск на погрешность измерений.

При нормировании и измерении ширины занимаемой полосы частот и мощности внеполосных излучений устанавливается несколько измерительных уровней X дБ (см. рис. 1.2), причем первый X_1 устанавливается равным ординате начальной точки ограничительной линии для внеполосного излучения; далее следует ряд более низких уровней X_2—X_m. Излучение будет удовлетворять нормам как на ширину занимаемой полосы частот, так и на внеполосные излучения, если будут соблюдаться следующие условия:

$$B_{X_1} = B_н + \delta B_н; \quad B_{X_2} = \gamma_2 + B_н; \quad B_{X_m} = \gamma_m B_н. \tag{1.8}$$

Характеристики ограничительных линий устанавливаются по достигнутой на данном уровне степени ограничения внеполосных излучений с учетом технических и экономических факторов на основании теоретических и экспериментальных данных, или используются данные МСЭ.

При стендовых испытаниях передатчиков с помощью испытательных сигналов заранее заданного типа, а также при контроле работы передающих устройств некоторых классов излучений при достаточно стабильном поле допустимое внеполосное излучение измеряют по ширине занимаемой полосы частот, определяемой по величине $\beta/2\%$, т. е.

$$B_з = B_н + \lambda, \tag{1.9}$$

где λ — наибольший допуск на погрешность измерительного прибора.

В соответствии с основными принципами нормирования разработаны Общесоюзные нормы на ширину полосы радиочастот и

внеполосные спектры излучений радиопередающих устройств [2]. Нормы состоят из двух частей. В первой нормируются ширина занимаемой и ширина контрольной полос частот, во второй — внеполосные спектры излучений.

Контроль норм на ширину занимаемой полосы частот проводится методами прямых измерений, путем сравнения мощности внеполосных излучений со средней мощностью излучения, или косвенными методами, по форме телеграфных импульсов (для излучений классов A1 и F1). Измерение ширины контрольной полосы частот и внеполосных спектров излучений проводится прямыми методами с помощью анализаторов спектра или измерительных приемников (см. § 2.6).

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЙ

За последние годы произошли значительные изменения в подходе к определению как спектральных параметров излучений, так и методов их измерений. При разработке новой классификации методов измерений спектральных параметров излучений были учтены последние достижения в этой области.

Методы измерений по новой классификации (рис. 1.5) разделяются на две большие группы: *прямые и косвенные.*

При проведении прямых измерений искомое значение ширины полосы частот на уровне X дБ или любого другого параметра находят непосредственно из опытных данных. При применении косвенных методов измерений искомую величину находят по из-

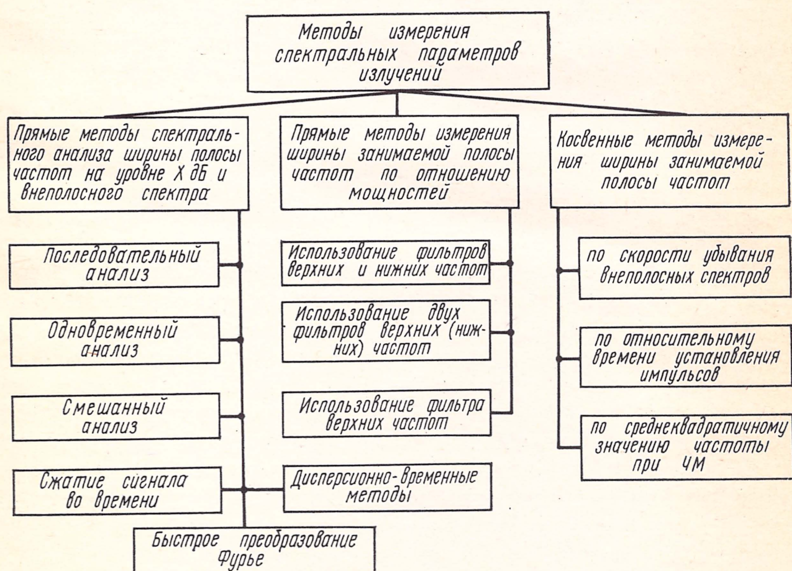


Рис. 1.5. Классификация методов измерений спектральных параметров

вестной зависимости между ней и величинами, значения которых получены при прямых измерениях.

Прямые методы измерения ширины полосы частот на уровне X дБ, ширины контрольной полосы частот и внеполосного спектра основаны на получении на экране анализатора спектра или другого измерительного прибора такого сигнала, по которому можно непосредственно отсчитать ширину полосы частот на уровне X дБ. К ним относятся, например, метод последовательного анализа спектра с использованием одного узкополосного фильтра, метод с использованием n полосовых фильтров (метод одновременного анализа) или смешанные методы.

При последовательном анализе узкополосный фильтр перестраивают в широкой полосе частот и при каждой новой настройке выделяют новую составляющую спектра или частоту каждой составляющей. Путем автоматического или ручного регулирования добиваются того, что частота измеряемой составляющей становится равной средней частоте полосового фильтра и проводят таким образом анализ всего спектра.

При одновременном анализе всю ширину полосы частот делят на узкие полосы частот, для каждой из которых предусматривают свой узкополосный фильтр. Выход каждого фильтра подключают индивидуально к измерительному прибору или автоматически последовательно к общему измерительному прибору.

Сравнивая оба метода анализа, легко убедиться в том, что первый метод требует значительного времени для проведения измерений, а второй — сложной измерительной аппаратуры. При отыскании компромисса пришли к методу смешанного анализа, при котором используют оба указанных метода. При этом исследуемую полосу частот делят на более узкие полосы с таким расчетом, чтобы число составляющих спектра соответствовало числу каналов анализатора спектра. В каждом участке производят одновременный анализ всех составляющих спектра, а всю исследуемую полосу частот последовательно перекрывают несколькими перестройками анализатора спектра.

К новым прямым методам спектрального анализа ширины полосы частот на уровне X дБ и ширины внеполосного спектра относятся дисперсионно-временной аппаратурный анализ и анализ со сжатием сигнала во времени. К расчетным относится машинный анализ спектра исследуемого сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье.

Прямые методы измерения ширины занимаемой полосы частот основаны на сравнении средней мощности основного излучения с мощностью, которая остается после фильтрации либо фильтрами верхних и нижних частот, либо двумя фильтрами верхних (нижних) частот, либо одним фильтром верхних частот. Необходимо, чтобы частота среза этих фильтров могла смещаться относительно спектра излучения.

При измерении методом фильтров верхних и нижних частот используют два фильтра, имеющих фиксированную полосу среза,

два генератора частоты и два преобразователя частоты. Частоты каждого из двух генераторов независимо и автоматически регулируют таким образом, чтобы каждый из двух фильтров выделял $\beta/2\%$ средней мощности. Разность частот перестраиваемых генераторов соответствует ширине занимаемой полосы частот. Эта разность может быть отсчитана непосредственно частотомером, измеряющим разность частот генераторов.

При измерении методом фильтра верхних частот используют фильтр верхних частот с фиксированной частотой среза, генератор с регулируемой частотой и преобразователь частоты. Путем изменения частоты генератора определяют две частоты среза такие, что выше первой из них и ниже второй мощности на выходе фильтра составляют $\beta/2\%$ от всей средней мощности на выходе. Ширина полосы частот определяется разностью частот среза фильтра. Если применить генератор, работающий попеременно на двух частотах с постоянным средним значением, то этот метод значительно упростится. Разность частот при этом методе должна регулироваться одним органом управления и отсчитываться непосредственно по шкале прибора. Одной из разновидностей этого метода является применение фильтра верхних частот, частота среза которого постепенно увеличивается.

Метод двух фильтров верхних (нижних) частот аналогичен описанному.

Измерение ширины занимаемой полосы частот на сигналах действительных сообщений проводят, как правило, косвенными методами. Эти методы основаны на зависимости ширины занимаемой полосы частот от скорости убывания внеполосных спектров, времени установления манипулирующих импульсов, среднеквадратичного значения девиации частоты и от других параметров, которые могут быть измерены с более высокой точностью, чем сама ширина занимаемой полосы частот.

Следует отметить, что в промышленности не все методы измерения спектральных составляющих излучений реализованы в достаточной степени. Наиболее широкое распространение у нас в стране и за рубежом получил метод последовательного анализа, который реализуется анализаторами спектра последовательного типа и измерительными приемниками, а также метод прямых измерений ширины занимаемой полосы частот с помощью фильтров верхних и нижних частот.

1.4. МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СПЕКТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА

Одним из прямых методов измерения полосы частот на уровне X дБ, по ширине которой проверяют оптимальность излучения передатчика [см. (1.8)], является метод последовательного анализа спектра. Этот метод реализуется аппаратурно с помощью измерительных приборов, в состав которых входит узкополосная систе-

ма. К таким приборам относятся анализаторы спектра и измерительные приемники.

В анализаторах спектра, разновидности структурных схем которых приведены на рис. 1.6 и 1.7, испытуемый сигнал поступает

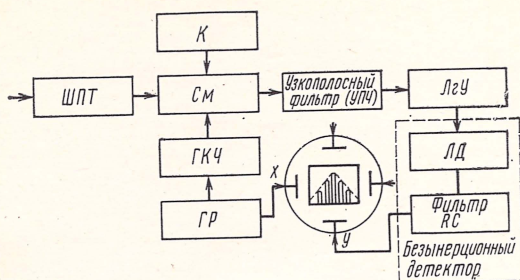


Рис. 1.6. Структурная схема анализатора спектра напряжений

через широкополосный тракт ШПТ на смеситель См. К смесителю подводится также напряжение от генератора качающейся частоты ГКЧ с частотой $f_{\text{ГКЧ}}$. Линейное изменение частоты $f_{\text{ГКЧ}}$ во времени производится изменением напряжения генератора раз-

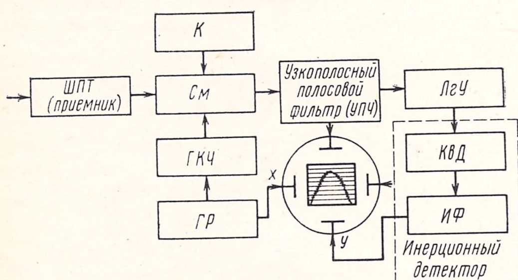


Рис. 1.7. Структурная схема анализатора мощности

вертки ГР, что обеспечивает отклонение электронного луча по горизонтали электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), пропорциональное изменению частоты измеряемого сигнала от среднего значения. Поэтому горизонтальная ось ЭЛТ анализатора спектра является осью частот.

На выходе смесителя образуется напряжение комбинационных частот, составляющие которых лежат в полосе пропускания усилителя промежуточной частоты $f_{\text{пр}} \pm \Delta f$. Далее эти составляющие усиливаются, детектируются и поступают на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. Из этого следует, что отклонение луча по вертикали пропорционально напряжению составляющей (см. рис.

1.6) или мощности узкой полосы спектра измеряемого сигнала (см. рис. 1.7), проходящих через узкополосный фильтр.

Таким образом, в анализаторах спектра (измерительных приемниках, см. § 2.6) усилитель промежуточной частоты является той узкополосной системой, которая позволяет реализовать метод последовательного анализа спектра.

В состав анализатора спектра может входить логарифмический усилитель ЛгУ. Он дает возможность наблюдать составляющие спектра сигнала или части спектра с большим отношением амплитуд (100 : 1 или 1000 : 1), что очень важно при измерении параметров спектральных составляющих, так как приходится сравнивать величины, отличающиеся по уровням на 40...60 дБ.

В анализаторах спектра подобного типа применяют ЭЛТ с длительным временем послесвечения. Такие трубки позволяют наблюдать на экране спектр дискретных частот в виде непрерывной линии. Калибратор анализатора спектра К предназначен для формирования на экране ЭЛТ опорных частотных меток, по которым производят отсчет ширины полосы частот.

Важным параметром анализатора спектра является его динамический диапазон, в котором с требуемой точностью обеспечивается воспроизведение измеряемых амплитуд спектральных составляющих и не создаются ложные составляющие. Динамический диапазон определяют по паспортным данным на прибор.

Анализаторы спектра последовательного типа работают в двух различных режимах: в режиме анализа спектров периодических сигналов (анализаторы спектра напряжений) и в режиме анализа спектров непериодических сигналов (анализаторы мощности). Эти режимы имеют принципиальное отличие, на которых следует остановиться.

А н а л и з а т о р с п е к т р а н а п р я ж е н и й (см. рис. 1.6). Спектр периодического сигнала с периодом повторения $T_п$ состоит из ряда синусоидальных составляющих с различными амплитудами, отличающихся друг от друга интервалами частот $\Delta F = 1/T_п$. При прохождении такой гармонической составляющей через анализирующий полосовой фильтр на его выходе появляется высокочастотный импульс. Частота заполнения этого импульса равна средней частоте анализирующего фильтра, а максимальная амплитуда соответствует амплитуде анализируемой гармоники. Эти условия будут выполняться в том случае, если ширина полосы анализирующего полосового фильтра будет позволять уверенно различать две близлежащие частотные составляющие измеряемого спектра.

С учетом этих соображений в [2] показано, что ширина полосы пропускания анализирующего полосового фильтра на уровне —3 дБ должна быть в 3 раза меньше частоты манипуляции испытуемого передатчика, т. е. $\Delta f = 0{,}3\ F_м$, где $F_м$ — частота манипуляции. При измерении спектров импульсных сигналов полоса пропускания анализирующего фильтра выбирается близкой к $1/10\tau$ (τ — длительность импульса, с).

Такой анализирующий полосовой фильтр, как и все подобные узкополосные системы, обладает известной инерционностью. При быстром прохождении через него периодической спектральной составляющей колебания в фильтре могут не успеть установиться, что вызовет динамические искажения и повлияет на точность измерений. Во избежание динамических искажений время анализа $T_а$, с, должно соответствовать условию

$$T_а \geqslant p П/(\Delta f)^2, \qquad (1.10)$$

где $П$ — полоса обзора анализатора, Гц; p — коэффициент, зависящий от формы частотной характеристики анализирующего фильтра (для колоколообразной формы $p \approx 1$, для прямоугольной $p=4$).

Полоса обзора $П$ анализатора спектра устанавливается примерно в 1,5 . . . 2 раза больше ожидаемой ширины полосы на измеряемом уровне X дБ, т. е. $П \approx (1{,}5 \ldots 2)\ B_X$. Значение B_X для некоторых классов излучений можно найти в табл. 1.3.

Время анализа при измерении спектров импульсных сигналов должно удовлетворять условию $T_{а.\,имп} \geqslant 50\ F_с$, где $F_с$ — частота следования импульсов.

Характерной особенностью анализаторов спектра периодических сигналов является применение после анализирующего полосового фильтра линейного детектора с фильтром RC (см. ЛД на рис. 1.6), параметры которого выбирают таким образом, что этот фильтр, не влияя на выделяемую огибающую радиоимпульса, полученного в анализирующем фильтре, в то же время отфильтровывает частоту заполнения самого импульса.

Калибровка анализатора спектра периодических сигналов для установки нулевого уровня отсчета осуществляется по испытательным сигналам, которые описаны в § 1.5.

А н а л и з а т о р м о щ н о с т и. При анализе спектров непериодических (шумовых) сигналов исследуют усредненную картину распределения мощности по частоте. Поэтому анализаторы данного типа, структурная схема одного из которых приведена на рис. 1.7, последовательно анализируют среднюю мощность в узкой полосе частот спектра исследуемого сигнала.

Узкополосный полосовой фильтр, с шириной полосы пропускания в 20 и более раз меньшей анализируемой полосы частот, в каждый момент времени из случайного сигнала выделяет его часть, заключенную в бесконечно большом числе случайных спектральных составляющих. Эти составляющие находятся в полосе частот фильтра по обе стороны от средней частоты полосы пропускания.

Для измерения средней мощности выходного сигнала узкополосного полосового фильтра применяют инерционный детектор, состоящий из квадратичного детектора и интегрирующего фильтра (см. КвД и ИФ на рис. 1.7). Квадратичный детектор выделяет огибающую выходного сигнала узкополосного полосового фильтра в виде напряжения одной полярности, соответствующего искомой

средней мощности, и низкочастотную составляющую, которая отфильтровывается последетекторным фильтром, имеющим постоянную времени

$$\tau' \geqslant 16/\Delta f. \quad (1.11)$$

В анализаторах данного типа вместо квадратичного детектора можно использовать линейный детектор или линейный детектор с логарифмическим усилителем и тем самым уменьшить время анализа, которое зависит также и от крутизны огибающей спектра в точке измерения.

При наклоне огибающей спектра Q в точке измерения, меньшем 30 дБ/октаву, допускаемое время анализа $T_{\text{а}}$ для линейного квадратичного и логарифмического детекторов, соответственно составляет [2]

$$\left.\begin{aligned} T_{\text{а.лин}} &\geqslant 8{,}3\,\tau' (\Pi/B_X)\sqrt{3{,}4\,(1+3/Q)}\,; \\ T_{\text{а.кв}} &\geqslant 11{,}8\,\tau' (\Pi/B_X)\sqrt{3{,}4\,(1+3/Q)}\,; \\ T_{\text{а.лг}} &\geqslant 11{,}8\,\tau' (\Pi/B_X)\sqrt{0{,}1\,Q}. \end{aligned}\right\} \quad (1.12)$$

При наклоне спектра, большем 30 дБ/октаву, время анализа составляет

$$\left.\begin{aligned} &T_{\text{а.лин}} \geqslant 2{,}3\,\Pi\tau' \,|X|/B_X, \quad T_{\text{а.кв}} \geqslant 4{,}6\,\Pi\tau' \,|X|/B_X, \\ &T_{\text{а.лг}} \geqslant (4{,}6\,\Pi\tau'/B_X)\lg[U/(U-|X|+1)], \end{aligned}\right\} \quad (1.13)$$

где X — значение измерительного уровня, дБ; U — динамический диапазон анализатора спектра, дБ.

Большинство анализаторов спектра имеет автоматическую развертку измеряемого спектра. Однако в тех случаях, когда для развертки требуется слишком большое время, анализатор спектра должен иметь возможность переключения с автоматической развертки на ручную.

Из изложенного следует, что аппаратурная погрешность измерения спектра зависит от полосы пропускания и частотной характеристики анализирующего полосового фильтра, от степени искажений характеристики этого фильтра при автоматической развертке, от динамического диапазона анализатора и некоторых других факторов.

Погрешность измерения зависит также от точности отсчетного аттенюатора при линейной шкале отсчета и точности логарифмирования при логарифмической шкале. Наиболее точной является линейная шкала. Логарифмическая шкала имеет преимущество в удобстве отсчета и наглядности измерения. Она применяется там, где не требуется высокая точность измерений. Например, при измерении спектральных параметров сигналов действительных сообщений на станциях технического контроля погрешности, возникающие при измерении спектральных параметров случайных сигналов, всегда превышают погрешности из-за неточного измерения отношения уровней составляющих при применении логарифмической шкалы отсчета.

Таблица 1.1

Характеристика	Значение характеристики для анализаторов спектра			
	С4-34	С4-25	С4-42	**С4-41**
Диапазон частот	20 Гц ... 200 кГц	20 кГц ... 50 МГц	40 МГц ... 17 ГГц	2 ... 39,6 ГГц
Полоса обзора	200 кГц; 1, 4, 20, 200 кГц	0 ... 50 МГц	10 ... 1300 МГц	0 ... 5, 2 ... 80 МГц
Полоса пропускания на уровне —3 дБ	5; 30; 150; 3000 Гц	3 ... 70 кГц; фиксированная 300 кГц	3 ... 70 кГц; фиксированные: 1; 300 кГц	3 ... 70 кГц; фиксированные: 1; 300 кГц
Чувствительность при с/ш=1 в полосе 1 кГц	30 мкВ	3 мкВ	—120 дБВт	—140 дБВт
Максимальный сигнал на входе прибора	100 В	1 В	10^{-5} Вт (на смеситель)	10^{-4} Вт (на смеситель)
Динамический диапазон по уровню интермодуляционных искажений	60 дБ	60 дБ	50 дБ	50 дБ
Погрешность отсчетного аттенюатора	—	±(1 ... 1,5) дБ	±(1 ... 1,5) дБ	±(1 ... 1,5) дБ
Входное сопротивление или размер волновода	50 кОм (100 пФ)	50 Ом, 20 кОм (17 пФ)	50 Ом 23×10 мм 16×8 мм	50 Ом 23×10 мм 16×8 мм 7,2×3 мм
Длительность развертки	13; 16; 17; 19 с	0,2 ... 2 с	0,2 ... 2 с	0,2 ... 2 с
Тип шкалы	Линейная	Линейная, квадратичная, логарифмическая	Линейная, квадратичная, логарифмическая	Линейная, квадратичная, логарифмическая

Основные технические характеристики анализаторов спектра, рекомендованных нормами [2] для измерения спектральных параметров излучений передающих устройств, приведены в табл. 1.1.

1.5. ИЗМЕРЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОМ СПЕКТРА ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ НА УРОВНЕ X дБ

При измерении анализатором спектра ширины полосы на уровне X дБ возможны два принципиально различных подхода: испытуемый передатчик модулируется детерминированными испытательными сигналами либо модуляция осуществляется случайными сигналами действительных сообщений. Первый вариант отличается более высокой точностью измерений. Он применяется при проведении испытаний передатчика на соответствие требованиям Общесоюзных норм [2] и при других важных испытаниях. Второй — применяется на станциях технического контроля, когда нет возможности остановить передачу действительных сообщений и запросить модуляцию испытуемого передатчика испытательными сигналами.

Рассмотрим первый случай, когда передатчик модулируется измерительными сигналами, а измерение ширины полосы частот проводится с помощью анализатора спектра последовательного типа с узкополосным фильтром.

Процесс измерения целесообразно разделить на три операции: подготовку испытуемого передатчика к измерению, установку нулевого уровня (т. е. калибровку коэффициента усиления всего тракта анализатора спектра) и отсчет ширины полосы частот.

Подготовка передатчика к измерению. Из рассмотрения исключены специфические операции подготовки передающего устройства к работе, такие, как включение, настройка на заданную частоту и т. д., описываются только способы его модуляции испытательными сигналами.

При измерении ширины полосы частот необходимо стремиться к оптимальным видам модуляции передатчика, так как структура и форма модулирующего сигнала формируют спектр излучения передатчика. С этой целью разработаны [2] испытательные сигналы, а также структурные схемы модулирующих установок.

Измерение ширины полосы частот радиоизлучения передатчиков, работающих в режимах A1, A2, A2J, A2H, F1, F3 (радиовещание), F6, F4, A4 и A4A, проводится при их модуляции периодическими испытательными сигналами, параметры которых приведены в табл. 1.2. Структурная схема модулирующей установки представлена на рис. 1.8. При измерении ширины полосы частот передатчиков с классами излучений F1 и F6 эта схема дополняется измерителем разноса частот, а для излучения F3 (радиовещание) — девиометром. Эти приборы включаются на входе передатчика или его возбудителя.

Измерения ширины полосы частот передатчиков, работающих в режимах A3, A3A, A3B, A3H, A3J, A7A, A7J, A9B и F3 (телефо-

ния, передатчики подвижной и фиксированной служб), проводится при модуляции испытуемого передатчика непериодическими шумовыми испытательными сигналами. Структурная схема модулирующей установки для этого случая приведена на рис. 1.9. Как видно из этой схемы, измерительный сигнал формируется из сигнала генератора шума ГШ с помощью формирующего фильтра, который имеет определенные параметры для различных классов излучений.

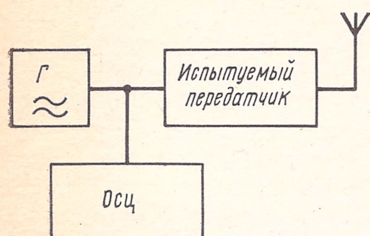


Рис. 1.8. Структурная схема измерительной установки для модуляции передатчика периодическими сигналами

Таблица 1.2

Класс излучения испытуемого передатчика	Испытательный сигнал и его основные данные	Условия проведения измерений
A1 A2 A2J	Телеграфные точки с преобладаниями не более 3% и относительным временем установления импульсов не более 2%	При всех значениях скорости манипуляции
A2H		То же, и всех разностях несущей и боковой полосы частот
F1		При всех значениях девиации частоты на минимальной и максимальной скоростях манипуляции
F6		При максимальном разносе частот и максимальной скорости передачи по одному из каналов и при минимальной скорости передачи по обоим каналам
F3 (радиовещание)	Синусоидальный сигнал с коэффициентом нелинейных искажений не более 1%	При максимальной модулирующей частоте и максимальной девиации частоты
F4	Сигнал поднесущей частоты 1900 Гц, модулированный по амплитуде при $M=90\%$ частотой 1100 Гц	При девиации частоты на выходе передатчика 1500 Гц
A4, A4A	Сигнал поднесущей частоты 1900 Гц, модулированный по частоте синусоидальным сигналом 550 Гц с девиацией 400 Гц	При коэффициенте глубины модуляции на выходе передатчика $M=90\%$

Например, при измерении ширины полосы частот передатчиков, работающих в режимах А3, А3А и А3В, используется формирующий фильтр, имитирующий вещательный сигнал. Частотная характеристика этого фильтра приведена на рис. 1.10.

Для передатчиков, работающих в режимах А7А, А7J, А9В, а также для передатчиков подвижной службы в режимах А3, А3А, А3Н, А3J и F3 в качестве формирующего применяется фильтр, имеющий полосу пропускания стандартного телефонного канала 300... ...3400 Гц с неравномерностью частотной характеристики в полосе пропускания не более ±2 дБ и затухание на частоте свыше 4 кГц не менее 20 дБ/октаву. При измерении ширины полосы частот других передатчиков используется фильтр, имитирующий речевой сигнал. Частотная характеристика этого фильтра приведена на рис. 1.11.

Испытательный сигнал с выхода модулирующей установки подается на вход тракта модуляции передатчика (см. рис. 1.9). Входы многоканальных передатчиков в этом случае включаются параллельно.

При измерении ширины полосы частот передатчиков, работающих в импульсных режимах, мо-

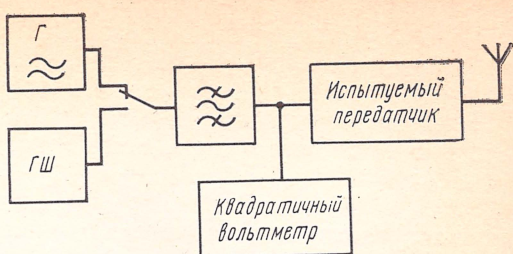


Рис. 1.9. Структурная схема измерительной установки для модуляции передатчика шумовыми сигналами

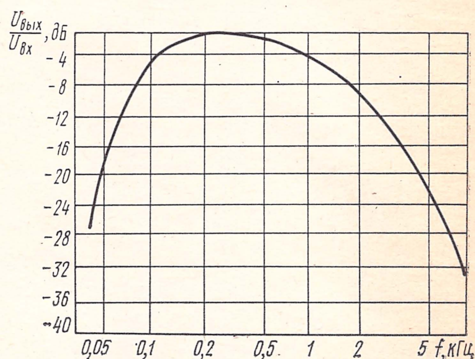


Рис. 1.10. Частотная характеристика фильтра, формирующего вещательный сигнал

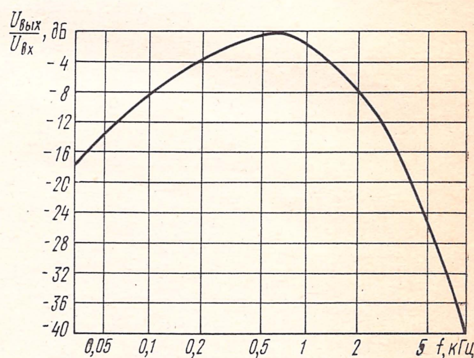


Рис. 1.11. Частотная характеристика фильтра, формирующего речевой сигнал

дуляция осуществляется некодированными импульсами с наименьшей длительностью либо используется рабочий или тестовый режим модуляции испытуемого передатчика.

Таким образом, все испытательные сигналы можно объединить в три группы: непрерывные периодические, непрерывные шумовые и импульсные.

Установка нулевого уровня и отсчет ширины полосы частот. Возможные варианты структурных схем установок для измерения ширины полосы частот излучения на уровне X дБ приведены на рис. 1.12 и 1.13. При выборе измерительных

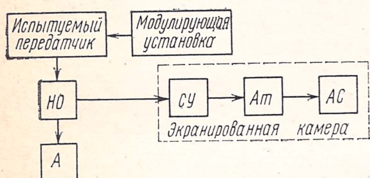


Рис. 1.12. Структурная схема установки для измерения ширины полосы частот на уровне X дБ с помощью направленного ответвителя

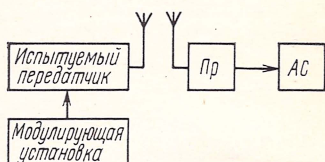


Рис. 1.13. Структурная схема установки для измерения ширины полосы частот на уровне X дБ по полю

приборов для этих установок необходимо обратить внимание на соответствие диапазонов частот испытуемого передатчика и анализатора спектра. Диапазон последнего можно расширить подключением анализатора спектра к тракту ПЧ приемника, имеющего общий диапазон с испытуемым передатчиком. При этом динамический диапазон и ширина полосы пропускания приемника должны быть такими, чтобы не искажался измеряемый спектр сигнала. Необходимо также учитывать, что динамический диапазон анализатора спектра при измерении шумовых сигналов сокращается на $10 \lg \Delta f / B_н$, а при анализе импульсных сигналов на $10 \lg (100/\tau^2 \Delta f)$, где f дано в килогерцах, а τ — в секундах.

Динамический диапазон можно расширить включением на входе анализатора спектра полосового фильтра, имеющего приемлемую для заданной точности результатов частотную характеристику.

Направленный ответвитель НО и согласующее устройство СУ (см. рис. 1.12) выбирают с учетом подачи на вход анализатора спектра измеряемого сигнала с характеристиками, соответствующими паспортным данным на прибор. Антенна приемника Пр (см. рис. 1.13) должна быть широкополосной, а напряженность поля измеряемого спектра не должна иметь замираний.

Собрав измерительную установку (см. рис. 1.12 или 1.13) и подготовив анализатор спектра АС и приемник Пр (если он применяется) к работе, как это описано в инструкции по эксплуатации прибора, приступают к установке нулевого уровня анализатора, т. е. к калибровке всего усилительного тракта измеритель-

ной установки. Необходимо учитывать при этом, что способы установки нулевого уровня и отсчета ширины полосы частот в анализаторах спектра с логарифмическим и линейным усилителями различны.

Для всех классов излучений, перечисленных в табл. 1.2, нулевой уровень анализатора спектра устанавливается по уровню сигнала неманипулированной несущей, а для излучения А4А — по уровню сигнала немодулированной поднесущей. Испытуемый передатчик включается на передачу, и дается сигнал «нажатия» в режимах А1, А2, А2Н, A2J, снимаются манипуляция (модуляция) в режимах F1, F3 (радиовещание), F4, F6 и модуляция поднесущей в режимах А4 и А4А. Амплитуду соответствующей спектральной составляющей на экране анализатора спектра устанавливают на отметку «О», как показано на рис. 1.14*а*. Затем на передатчик

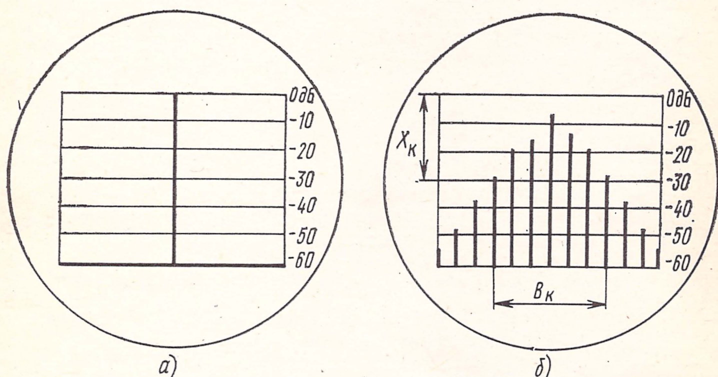


Рис. 1.14. Измерение ширины полосы частот анализатором спектра с логарифмическим усилителем:
а — установка нулевого уровня; *б* — отсчет ширины полосы частот

подают испытательный сигнал и, не изменяя полосы пропускания анализирующего полосового фильтра анализатора спектра, осуществляют отсчет ширины полосы спектра. В случае использования анализатора спектра с логарифмическим детектором ширину полосы частот на уровне X дБ отсчитывают непосредственно на шкале анализатора спектра (рис. 1.14*б*) по частотному интервалу между спектральными составляющими справа и слева от средней части спектра, которые последними пересекают уровень X дБ.

На рис. 1.14*б* показан пример отсчета ширины контрольной полосы частот на уровне —30 дБ. Ширина контрольной полосы частот в этом случае будет равна $B_к$. Частотный интервал $B_к$ определяют методом, изложенным в инструкции по эксплуатации применяемого анализатора спектра.

При использовании анализатора спектра с линейным детектором его калибруют по уровню сигнала неманипулированной (не-

модулированной) несущей при затухании, вносимом отсчетными аттенюаторами анализатора спектра, превышающем измеряемый уровень X дБ. Например, при измерении ширины контрольной полосы частот затухание, вносимое отсчетными аттенюаторами при установке нулевого уровня (рис. 1.15*а*), должно быть больше 30 дБ.

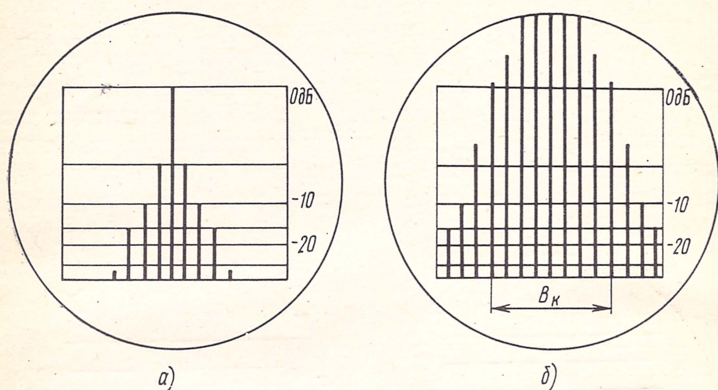


Рис. 1.15. Измерение ширины полосы частот анализатором спектра с линейным усилителем:
а — установка нулевого уровня; *б* — отсчет ширины полосы частот

После этого на передатчик подают испытательный сигнал и, не изменяя полосы пропускания анализирующего фильтра и полосы обзора анализатора спектра, уменьшают на измеряемую величину затухание отсчетных аттенюаторов. Например, при измерении ширины контрольной полосы частот затухание отсчетных аттенюаторов уменьшают на 30 дБ. Ширину полосы частот отсчитывают (рис. 1.15*б*) по отметке нулевого уровня.

Измерение ширины полосы частот на различных уровнях X дБ импульсных сигналов проводят в режиме автоматической перестройки анализатора спектра по частоте. Максимум огибающей спектра устанавливают на отметку нулевого уровня на экране анализатора спектра, как показано на рис. 1.16*а*. Затем затухание отсчетного аттенюатора уменьшают на измеряемую величину X дБ и измеряют частотный интервал B_X между теми спектральными составляющими (рис. 1 16*б*), которые совпадают с отметкой нулевого уровня.

Измерение ширины полосы частот передатчиков, модулированных шумовыми сигналами, может проводиться анализаторами спектра с линейным, квадратичным и логарифмическим детекторами. Время анализа $T_а$ при этом должно соответствовать формулам (1.12) и (1.13).

Нулевой уровень определяют по максимальному уровню спектральной плотности мощности в пределах боковой полосы частот, который устанавливают на отметку «0 дБ». При этом уровень сигнала несущей или ее остатка не учитывают.

На рис. 1.17*а* показан пример установки нулевого уровня на анализаторе спектра с логарифмической шкалой отсчета. Ширину полосы частот в этом случае отсчитывают по частотному интервалу между ординатами огибающей спектра. В данном примере показан порядок отсчета ширины контрольной полосы частот $B_к$

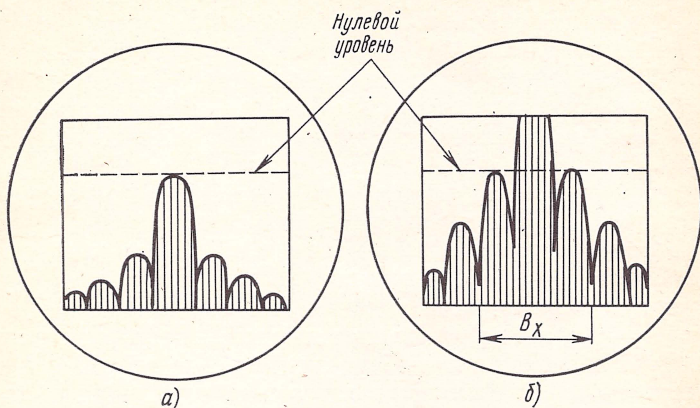


Рис. 1.16. Измерение ширины полосы частот импульсных сигналов:
а — установка нулевого уровня; *б* — отсчет ширины полосы частот

на уровне —30 дБ. Аналогичным образом может быть отсчитана ширина полосы частот на более низких уровнях *X* дБ.

На рис. 17*б* показано измерение ширины полосы частот анализатором спектра с линейным или квадратичным детектором. Нулевой уровень в этом случае устанавливают так же, как на рис. 17*а*. После этого уменьшают затухание анализатора спектра

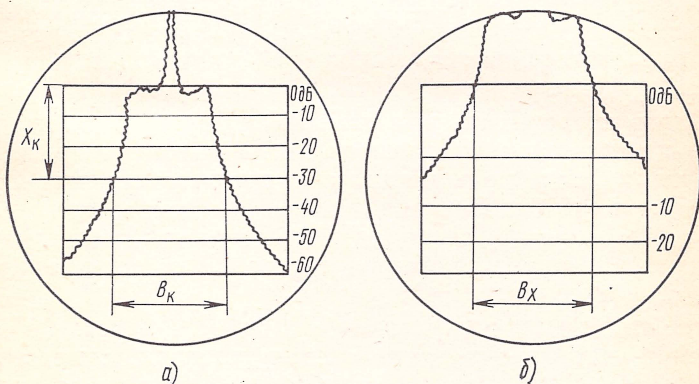


Рис. 1.17. Пример измерения ширины полосы частот передатчиков, модулированных шумовыми сигналами на анализаторе спектра:
а — с логарифмическим; *б* — с линейным усилителем

на величину желаемого уровня измерения (для ширины контрольной полосы частот — минус 30 дБ) и по частотному интервалу между ординатами огибающей спектра, совпадающими с уровнем О дБ, определяют искомую ширину полосы частот B_X.

При проведении измерений ширины полосы частот на уровне X дБ необходимо помнить и учитывать, что установка нулевого уровня и измерение ширины полосы частот должны производиться при неизменных полосе пропускания анализирующего фильтра, полосе обзора, периоде развертки и постоянной времени последетекторного фильтра анализатора спектра. Измерение необходимо повторить 2—3 раза, чтобы убедиться в стабильности полученных результатов.

Если ширина полосы частот, отсчитываемая на уровне X дБ, выйдет за пределы шкалы анализатора спектра, то следует увеличить полосу обзора анализатора спектра, снова провести установку нулевого уровня (как это делалось в конкретном случае) и отсчет ширины полосы частот.

В тех случаях, когда применяется анализатор спектра с неоцифрованной шкалой, нулевой уровень можно установить на любой отметке, которая находится в верхней трети экрана анализатора спектра.

1.6. ИЗМЕРЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОМ СПЕКТРА ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ СИГНАЛОВ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ

Необходимость проведения измерений ширины полосы частот на различных уровнях X дБ сигналов действительных сообщений особенно актуальна для станций технического контроля. Однако такие измерения имеют статистическую погрешность, которая не позволяет проводить их с целью контроля излучений передатчиков на соответствие нормам [2]. Вместе с тем по измеренным значениям ширины полосы частот сигналов действительных сообщений станции технического контроля оценивают эти излучения с точки зрения оптимальности занимаемой ширины полосы частот (см. рис. 1.3 и 1.4).

Основную погрешность при измерении ширины полосы частот сигналов действительных сообщений обусловливают нестационарность сигналов, а также селективные и другие замирания и радиопомехи. Поэтому важными условиями проведения измерений являются достаточная и постоянная напряженность поля измеряемого сигнала на входе анализатора спектра и отсутствие радиопомех от соседних по частоте радиостанций.

При соблюдении этих условий (что удается далеко не всегда) затруднение может вызвать правильная установка нулевого уровня отсчета, т. е. правильная калибровка анализатора спектра. Несмотря на большие усилия специалистов, пока не найден способ установки нулевого уровня, пригодный для излучений всех классов.

Одним из способов установки нулевого уровня анализатора спектра при измерении ширины полосы частот на уровне X дБ для телеграфных классов излучений с амплитудной модуляцией и излучений с импульсной модуляцией является использование синусоидального замещающего сигнала. Структурная схема измерительной установки приведена на рис. 1.18. Замещающий одно-

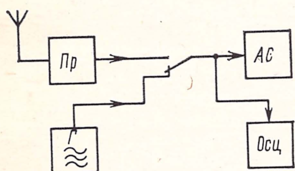


Рис. 1.18. Структурная схема установки для измерения ширины полосы частот сигналов действительных сообщений с установкой нулевого уровня по синусоидальному сигналу

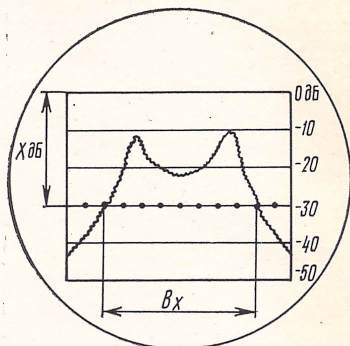


Рис. 1.19. Отсчет ширины полосы частот на уровне X дБ сигналов действительных сообщений

тоновый синусоидальный сигнал подается на вход анализатора спектра с подключенным к его входу осциллографом, который может также подключаться к широкополосному тракту ПЧ самого анализатора. С помощью осциллографа уравнивают амплитуды замещающего сигнала и измеряемого сигнала в тех участках его спектра, в которых эти амплитуды соответствуют уровню сигнала неманипулированной несущей. Подобрав таким образом величину и частоту замещающего синусоидального сигнала устанавливают по нему нулевой уровень анализатора спектра (см. рис. 1.14*а*). После этого на вход анализатора спектра подают измеряемый сигнал и, не изменяя ширины полосы пропускания анализирующего фильтра, полосы обзора, скорости анализа и коэффициента усиления анализатора спектра, откалиброванного по замещающему синусоидальному сигналу, отсчитывают ширину полосы частот на любом уровне X дБ, как показано на рис. 1.19. В данном случае приведен пример отсчета ширины полосы частот на уровне —30 дБ при использовании анализатора спектра с логарифмическим усилителем.

При применении анализатора спектра с линейным усилителем его калибрируют при максимальном затухании аттенюаторов описанным выше способом. При подаче на вход анализатора спектра

измеряемого сигнала уменьшают затухание аттенюаторов на заданную величину X дБ и проводят отсчет ширины полосы частот, как показано на рис. 1.15*б*.

В практике измерений ширины полосы частот на уровне X дБ сигналов действительных сообщений применяют еще несколько способов установки нулевого уровня анализатора спектра, например по пиковому уровню излучения. При этом способе выключается развертка анализатора спектра, а ширина полосы анализирующего фильтра выбирается такой, чтобы в нее попадали все значительные составляющие измеряемого спектра. Уровень отклика анализатора спектра, полученный в этих условиях, принимается за нулевой. Основным недостатком этого способа является довольно большая погрешность измерения, вызванная тем, что установка нулевого уровня проводится в статическом режиме, а измерение ширины полосы частот — в динамическом режиме работы анализатора спектра.

Нулевой уровень отсчета может быть установлен по максимальному уровню спектральной плотности мощности исследуемого сигнала. Ширина полосы анализирующего фильтра при этом выбирается соответствующей скорости манипуляции измеряемого телеграфного сигнала. Для некоторых классов излучений (А3, А3Н и А3А) не учитываются уровни некоторых дискретных спектральных составляющих, таких, например, как уровень сигнала несущей или ее остатка.

Нулевой уровень можно устанавливать по максимальному отклику анализатора спектра на узкополосный шумовой сигнал с заранее известной эффективной шириной полосы частот и спектром, близким к прямоугольному. В качестве генератора шума ГШ (рис. 1.20) используется ГСС с выходом внешней модуляции, на которой подается сигнал от низкочастотного генератора шума. Несущую частоту ГСС выбирают такой, чтобы в узкополосный полосовой фильтр попадал шумовой сигнал, заключенный в одной из боковых полос частот выходного сигнала ГСС.

Узкополосный фильтр должен иметь полосу пропускания на уровне —6 дБ $\Delta F_{\text{ф}}=100\ldots200$ Гц, коэффициент прямоугольности в интервале уровней — (6...60) дБ, равный 2—3, и среднюю частоту, близкую к ПЧ применяемого приемника (см. рис. 1.20).

Ширину полосы анализирующего фильтра анализатора спектра $\Delta F_{\text{а}}$ выбирают в 2—3 раза меньше ширины полосы частот калибровочного фильтра шумового сигнала на уровне —6 дБ. Скорость анализа $T_{\text{а}}$ и постоянная времени последетекторного фильтра выбираются, как описано в § 1.5.

После этого проводят последовательный анализ спектра калибровочного шумового сигнала. Уровень выходного сигнала генератора шума регулируют так, чтобы плоский участок спектра совпал с нулевой отметкой анализатора спектра (рис. 1.21). По квадратичному вольтметру КВ (см. рис. 1.20) фиксируют величину среднеквадратичного напряжения калибровочного сигнала. На этом установка нулевого уровня заканчивается. Дальнейшие из-

мерения проводят, не изменяя ширины полосы пропускания анализирующего фильтра, скорости анализа и коэффициента усиления анализатора спектра, на вход которого подается измеряемый сигнал. Органами усиления приемника добиваются такого усиле-

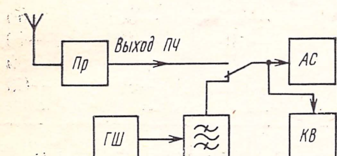


Рис. 1.20. Структурная схема установки для измерения ширины полосы частот с установкой нулевого уровня по шумовому сигналу

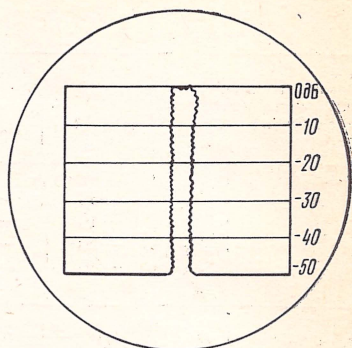


Рис. 1.21. Установка нулевого уровня по шумовому сигналу

ния измеряемого сигнала, чтобы вольтметр показывал напряжение $U = U_к / \sqrt{2\Delta F_ф / B}$, где $U_к$ — измеренное калибровочное напряжение; B — скорость манипуляции.

После этого отсчитывают ширину полосы частот на заданном уровне X дБ (см. рис. 1.19).

Измерение ширины полосы частот на уровне X дБ нестационарных радиотелефонных и радиовещательных сигналов проводят аналогично модуляции передатчика детерминированными испытательными сигналами. Для повышения точности каждое измерение повторяют 5—6 раз.

1.7. ИЗМЕРЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОМ СПЕКТРА ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ ВНЕПОЛОСНОГО СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ

Часть спектральной плотности излучения (или спектра мощности, когда он состоит из дискретных составляющих), находящаяся за пределами необходимой ширины полосы частот, относится к внеполосному спектру излучения. Необходимая ширина полосы частот рассчитывается [2] для каждого класса излучения.

Для того чтобы оценить ширину полосы частот внеполосного спектра, строят ограничительную линию этого спектра на плоскости координат уровень — частота. Координаты точек ограничительной линии ОГ установлены [2] для каждого класса излучения и некоторые из них для примера приведены в табл. 1.3. Начальные точки ограничительной линии всегда (по определению)

совпадают с крайними точками необходимой ширины полосы частот, а последующие установлены на более низких уровнях через 5...10 дБ вплоть до — (35...60) дБ в зависимости от класса излучения.

Таблица 1.3

Параметры, определяющие координаты точек ОГ линии		Значения параметров для классов излучений					
		A1, A2J	A3 (радиовещание)	A4	A4A	F1	Р9Д
Измеряемый уровень	$X_к$	—30	—30	—30	—30	—30	—30
	X_1	—40	—40	—35	—40	—40	—40
	X_2	—50	—45	—	—50	—50	—50
	X_3	—60	—50	—	—60	—60	—60
	X_4	—	—60	—	—	—	—
Ширина полосы частот	$B_{Xк}$	$B_н$	$1,2\,B_н$	$B_н$	$B_н+F_в$	$4,8\sqrt{m}\,B$	$4\,B_н$
	B_{X1}	$1,3\,B_н$	$1,35\,B_н$	$B_н+2F_в$	$B_н+2F_в$	$5,8\sqrt{m}\,B$	$5,5\,B_н$
	B_{X2}	$1,6\,B_н$	$1,4\,B_н$	—	$B_н+3F_в$	$8,1\sqrt{m}\,B$	$8\,B_н$
	B_{X3}	$2\,B_н$	$1,9\,B_н$	—	$B_н+4F_в$	$11\sqrt{m}\,B$	$15\,B_н$
	B_{X4}	—	$3,3\,B_н$	—	—	—	—

Примечания: 1) $F_в$ — максимальная частота модуляции (манипуляции), Гц; 2) B — скорость телеграфирования, Бод; 3) m — индекс частотной модуляции, в данном случае пример приведен для $1,5 \leqslant m < 5$; 4) значения уровней даны в децибелах.

Таким образом, измерение анализатором спектра ширины полосы частот внеполосного спектра излучения включает в себя измерения ширины полосы частот на заранее заданных, более низких уровнях X дБ, методы проведения которых были описаны в § 1.5 и 1.6.

При этом необходимо учитывать, что полосу обзора анализатора спектра следует выбрать в 1,2 раза больше ожидаемой ширины полосы частот измеряемого сигнала на уровне — 60 дБ. Например, при измерении сигналов класса излучения A1 ($B_н$=100 Гц) полоса обзора (см. табл. 1.3) должна составлять $П=2B_н\cdot1,2=2\cdot100\cdot1,2=240$ Гц, а для Р9Д ($B_н$=6 МГц) $П=15\times6\cdot1,2=108$ МГц.

При использовании в измерительной установке приемника его полосу пропускания также нужно устанавливать на такую величину. Если выбранный анализатор спектра или приемник не обеспечивает расчетную полосу пропускания, то внеполосные спектры можно измерять по участкам.

Установку нулевого уровня производят при максимальном или близком к максимальному затухании отсчетных аттенюаторов анализатора спектра. На линии горизонтальной развертки отмечают начало последующих отсчетов расстроек по частоте, соответствующих середине полосы частот, ширина которой измерена на уровне —30 дБ. Дальнейшие измерения частотных интервалов производятся от этого начала отсчета.

Если при проведении измерений используется анализатор спектра с логарифмическим детектором и погрешность воспроизведения не превышает допустимого значения (при контроле норм [2] — 2 дБ), то производят непосредственный отсчет положительных и отрицательных расстроек на уровнях X дБ, соответствующих значениям X для данного класса излучения (см. табл. 1.3). При применении анализатора спектра с линейным или квадратичным детектором уменьшают затухание отсчетных аттенюаторов последовательно на X дБ и на каждом уровне фиксируют отсчеты положительных и отрицательных расстроек.

Например, проводится проверка ширины полосы частот внеполосного спектра излучения передающего устройства радиовещания (класс излучения А3) на соответствие нормам [2]. Для этого строят график (рис. 1.22) ограничительной линии согласно координатам (см. табл. 1.3): $X_к$=—30 дБ; 1,2$B_н$; 2) X_1=—40 дБ; 1,35$B_н$; 3) X_2=—45 дБ; 1,4$B_н$; 4) X_3=—50 дБ; 1,9$B_н$; 5) X_4= =—60 дБ; 3,3$B_н$.

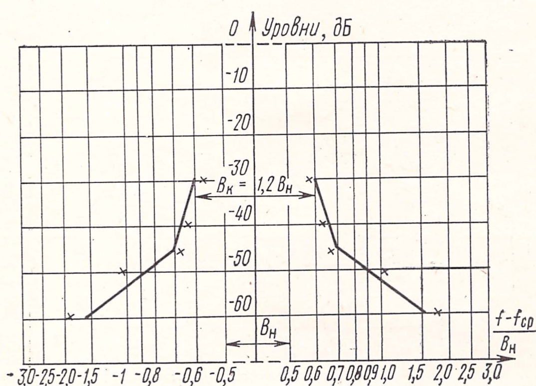


Рис. 1.22. К измерению внеполосных излучений

Затем измеряют ширину контрольной полосы частот исследуемого передатчика на уровне —30 дБ и ширину полосы частот на уровнях —40, —45, —50 и —60 дБ и полученные точки отсчета наносят на соответствующие уровни на графике рис. 1.22.

Пусть измеренные точки соответствуют звездочкам на графике. При оценке результатов измерения ширины полосы частот внеполосных спектров излучения установлено [2], что спектры соответствуют нормам, если измеренные значения ширины полосы частот на указанных уровнях не превышают установленные нормами значения более чем на 20%. В данном примере ширина контрольной полосы частот и внеполосные спектры излучений до уровня минус 45 дБ соответствуют нормам, а ниже этого уровня — не соответствуют.

1.8. МЕТОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРОВ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ ЧАСТОТ

Метод прямого измерения ширины занимаемой полосы частот с использованием фильтров верхних и нижних частот основан на сравнении мощностей внеполосных излучений, выделяемых этими фильтрами с каждого края спектра измеряемого сигнала, со средней мощностью полного излучения. Основными преимуществами этого метода являются непосредственный отсчет ширины занимаемой полосы частот, возможность измерения спектров детерминированных и случайных сигналов и удобство ведения записи результатов измерений. К недостаткам относятся сравнительно невысокая точность измерений (около 10...15%), обусловленная неточностями сравнения мощностей и отсчета частоты. На этом принципе построены специальные измерительные приборы, которые называют измерителями ширины полосы излучений.

Измерительная установка (рис. 1.23) состоит из приемного устройства, к выходу ПЧ которого подключен измеритель. Измеряемый сигнал (рис. 1.24*а*) с выхода ПЧ приемника подается на

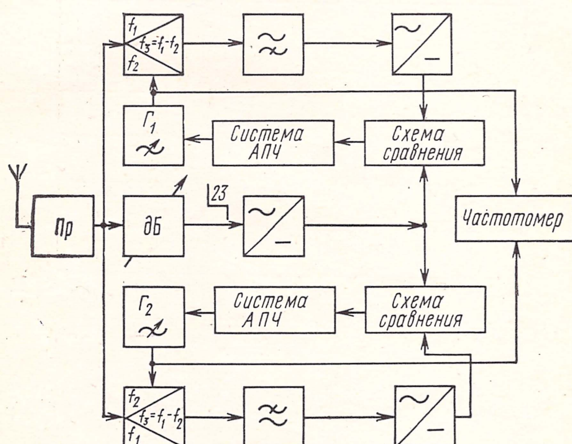


Рис. 1.23. Структурная схема трехканального измерителя

три канала измерителя: канал измерения средней мощности полного излучения, включающий в себя аттенюатор и квадратичный детектор, и два канала для измерения мощности внеполосных излучений с каждого из краев спектра, включающие в себя смесители с гетеродинами, фильтры верхних и нижних частот, квадратичные детекторы и схемы сравнения. В канале измерения средней мощности полного излучения с помощью аттенюатора мощность измеряемого сигнала ослабляется на 23 дБ при $\beta/2=0{,}5\%$. После детектирования в квадратичном детекторе измеряемый сигнал поступает на схемы сравнения первого и второго каналов измерений.

В каналах измерения мощности внеполосных излучений измеряемый сигнал поступает на смесители. Сюда же подаются напряжения частот гетеродинов $Г_1$ и $Г_2$ (рис. 1.24*б*,*г*). Нагрузками смесителей являются фильтры верхних и нижних частот, имеющие одну и ту же фиксированную частоту среза (рис. 1.24*в*,*д*), которые отфильтровывают с верхнего и нижнего краев спектра определенную мощность. Эта мощность после квадратичных детекторов подается соответственно на схемы сравнения мощностей первого и второго каналов.

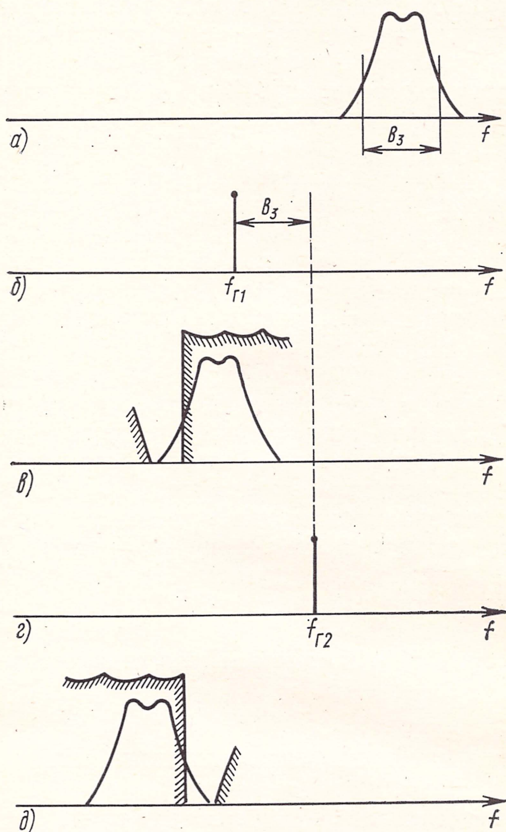


Рис. 1.24. Диаграммы, поясняющие работу трехканального измерителя

Схемы сравнения мощностей обоих каналов выдают на свои системы АПЧ управляющие сигналы, знаки и величины которых определяются разностями выходных сигналов квадратичных детекторов. Системы АПЧ производят подстройку частот гетеродинов $Г_1$ и $Г_2$ до тех пор, пока уровни выходных сигналов квадра-

тичных детекторов не станут равны между собой. Поскольку, как отмечалось выше, мощность в основном среднем канале измерителя ослаблена на 23 дБ, процесс подстройки гетеродинов $Г_1$ и $Г_2$ закончится тогда, когда в каждый из фильтров верхних и нижних частот поступит $\beta/2=0{,}5\%$ всей средней мощности излучения. Ширина занимаемой полосы частот (см. рис. 1.24*а*,*б*) отсчитывается частотомером (см. рис. 1.23) непосредственно по разности частот гетеродинов $Г_1$ и $Г_2$.

В работу описанной схемы наибольшую погрешность вносят системы АПЧ, которые обладают известной инерционностью. Поэтому в тех случаях, когда требуется повышение точности измерения ширины занимаемой полосы частот, переходят на ручной режим работы измерителя, исключая из схемы рис. 1.23 системы АПЧ. В этом случае гетеродины $Г_1$ и $Г_2$ подстраивают вручную, а условия равенства средней мощности и мощностей внеполосных излучений определяют по измерительным приборам, подключенным к схемам сравнения. Нетрудно убедиться, что сравнение мощности внеполосного излучения со всей средней мощностью можно осуществить путем усиления в боковых каналах прибора мощности внеполосного излучения на 23 дБ, оставив без изменения мощность в соседнем канале. На этом принципе работает измеритель ширины полосы частот излучений «Кварц-5» (см. § 1.10).

Описанный метод последовательного сравнения мощностей внеполосных излучений с каждого края спектра со средней мощностью полного излучения с помощью коммутируемых фильтров верхних и нижних частот весьма целесообразно дополнен одновременным анализом спектра измеряемого сигнала, чем достигается оптимальная настройка приемника на частоту передатчика и выбор необходимой полосы пропускания усилителя ПЧ приемника. Эти меры повышают помехоустойчивость измерений данным методом, а также позволяют проводить измерения ширины полосы частот на различных уровнях *X* дБ. Наиболее полно этот метод реализован в серийно выпускаемом промышленностью устройстве ИШПИ-1.

1.9. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР ИШПИ-1

Основные технические характеристики. Прибор предназначен для измерения ширины занимаемой полосы частот и ширины полосы частот на уровне *X* дБ с возможностью одновременного фотографирования и записи самописцем спектров излучений. Прибором могут проводиться измерения периодических (детерминированных) сигналов или сигналов с медленно изменяющимися во времени спектром. Прибор позволяет приближенно оценивать ширину занимаемой полосы частот и ширину полосы частот на уровне *X* дБ сигналов действительных сообщений.

Прибор ИШПИ-1 работает совместно с приемным устройством, имеющим выход ПЧ с одним из номиналов 215, 128 или 85 кГц, и обеспечивает измерение сигналов в диапазоне рабочих частот применяемых приемников. Например, измерение прибором, подключенным к приемнику Р-250М, перекрывает полосу частот от 1500 кГц до 25,5 МГц.

Диапазон полос самого измерителя при измерении ширины занимаемой полосы частот составляет от 200 Гц до 20 кГц, а при измерении ширины полосы частот на уровне X дБ — от 50 Гц до 30 кГц. Отсчет ширины занимаемой полосы частот производится по цифровому индикатору, ширины полосы частот на уровне X дБ — по частотным меткам на экране электронно-лучевой трубки.

Рабочее время развертки равно 10 с, время для подготовки к измерению — 1 с. Максимальный диапазон амплитуд наблюдаемых составляющих спектра в логарифмическом масштабе составляет 60 дБ. Полосы обзора равны: 0,6; 1,2; 2,4; 6; 12; 24; 60 кГц. Метки следуют с частотой 50, 100, 200, 500 Гц; 1, 2, 5 кГц.

Прибор автоматически устраняет влияние изменения амплитуды входного сигнала на огибающую его спектра при измерении ширины полосы частот на уровне X дБ.

Статистические полосы анализирующих фильтров на уровне —30 дБ равны 15, 50 и 150 кГц с коэффициентом прямоугольности на уровне — 60 дБ в пределах 4 . . . 6.

Сопротивление прибора по входу частоты 215 кГц не менее 1 кОм, по входам частот 128 и 85 кГц — не менее 20 кОм, чувствительность прибора по входу соответственно 25, 50 и 80 мВ.

Погрешность измерения ширины занимаемой полосы частот в режиме ручной перестройки прибора не более 12%, в автоматическом режиме при полосе обзора 0,6 не более ±20%, при остальных значениях полосы обзора — не более ±15%.

Погрешность измерения ширины полосы частот на уровне X дБ равна ±(15 . . . 45) % в зависимости от измеряемой ширины полосы и наклона огибающей спектра сигнала.

Прибор имеет выход на самописец Н-110.

По условиям эксплуатации прибор соответствует первой группе ГОСТ 22261—76 «Средства измерения электрических величин. Общие технические требования».

Прибор рассчитан на электропитание от сети переменного тока напряжением 220 В±20 В с частотой 50 Гц и обеспечивает 8 ч непрерывной работы после двух часов самопрогрева.

В состав прибора входят анализатор спектра, осциллограф, электронный счетчик, измерительные фильтры и панель питания. В комплекте прибора предусмотрена фотоприставка.

П р и н ц и п р а б о т ы п р и б о р а [2, 7]. Измерительный прибор ИШПИ-1 имеет широкополосный и узкополосный каналы, работающие от общего входного устройства (приемника *1*, рис. 1.25).

Широкополосный канал позволяет измерять ширину занимаемой полосы частот методом сравнения всей средней мощности полного излучения с мощностью внеполосного излучения, поочередно выделяемой с каждого края спектра сигнала с помощью двух фильтров верхних и нижних частот, имеющих совмещенные частоты среза.

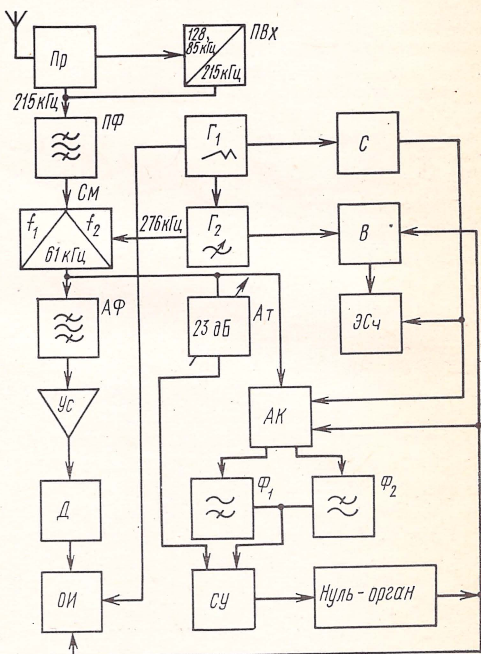


Рис. 1.25. Структурная схема прибора ИШПИ-1

Узкополосный канал позволяет получать огибающую спектра в координатах частота — напряжение и наблюдать на экране ЭЛТ осциллографического индикатора картину измеряемого спектра, спектра соседних по частоте излучений, а также измерять ширину полосы частот на уровне X дБ относительно уровня сигнала неманипулированной несущей или максимальной составляющей спектра.

Входным устройством прибора является приемник Пр, имеющий выход ПЧ, равной 215, 128 или 85 кГц. В первом случае измеряемый сигнал подается на полосовые фильтры ПФ, во втором — на входной преобразователь ПВх. Входной преобразователь переносит измеряемый спектр сигнала со средней частотой 128 или 85 кГц в область со средней частотой 215 кГц.

Полосовые фильтры предназначены для фильтрации побочных продуктов преобразования измеряемого сигнала после входного преобразователя или непосредственно со входа 215 кГц. Полоса пропускания фильтров составляет 215±30 кГц, волновое сопротивление — 1 кОм.

После фильтрации измеряемый сигнал поступает на кольцевой смеситель См, на который подается также напряжение от перестраиваемого гетеродина $Г_2$. Кольцевой смеситель служит для переноса измеряемого сигнала из области частот 215 кГц в область со средней частотой 61 кГц, выбор которой определяется частотой срезов измерительных фильтров $Ф_1$ и $Ф_2$ и средней частотой полосы пропускания анализирующих фильтров АФ. Кольцевой смеситель является общим для измерения как ширины занимаемой полосы частот, так и ширины полосы частот на уровне X дБ.

Частота перестраиваемого гетеродина $Г_2$ изменяется автоматически под воздействием напряжения генератора пилообразного напряжения $Г_1$ или вручную в полосе частот 276±30 кГц. Таким образом, $f_{пр}=f_{п.г}-f_{к.с}$, где $f_{п.г}$, $f_{к.с}$ — средние частоты перестраиваемого гетеродина и кольцевого смесителя.

При изменении частоты перестраиваемого гетеродина от минимального до максимального значения средняя частота измеряемого сигнала на выходе кольцевого смесителя также будет изменяться от минимального до максимального значения.

После включения измерительного прибора будет работать генератор пилообразного напряжения, импульсы обратного хода которого выделяются селектором С импульсов обратного хода. Под воздействием первого импульса обратного хода, поступающего на верхний вход управления автоматического коммутатора АК, коммутатор подключит к кольцевому смесителю См измерительный фильтр $Ф_1$ и останется в таком положении до поступления на его вход другого импульса с нуль-органа.

Измерительный фильтр верхних частот $Ф_1$ состоит из узкополосного и широкополосного кварцевых фильтров, с помощью которых осуществляется измерение ширины занимаемой полосы частот различных классов излучений, от сотен герц до десятков килогерц. Аналогичное устройство имеет фильтр нижних частот $Ф_2$.

В начале первого цикла измерения спектр измеряемого сигнала попадает в полосу пропускания фильтра $Ф_1$ правым краем (рис. 1.26*а*). По мере поступления в полосу пропускания $Ф_1$ все большей части спектра этим фильтром будет выделяться все бо́льшая мощность внеполосного излучения сигнала, которая с выхода фильтра подается на правый вход устройства сравнения мощностей СУ (см. рис. 1.25).

В это время на экране осциллографического индикатора ОИ будут воспроизводиться в логарифмическом масштабе по оси Y спектральные составляющие измеряемого сигнала (рис. 1.26*б*), а также составляющие спектров радиопомех, если они попали в тракт ПЧ приемника.

На левый вход СУ подается ослабленная аттенюатором Ат средняя мощность измеряемого сигнала. При установке затухания аттенюатора равным 23 дБ на левый вход СУ попадает 0,5% всей средней мощности измеряемого сигнала.

После того как в фильтр верхних частот $Ф_1$ попадает также 0,5% всей средней мощности измеряемого сигнала (см. рис. 1.26*в*), мощности на обоих входах устройства сравнения мощностей станут равными. Нуль-орган зафиксирует это равенство, осуществит индикацию верхней границы ширины занимаемой полосы частот (рис. 1.26*г*) на воспроизводимом на ЭЛТ спектре измеряемого сигнала и

выдаст импульс, который откроет вентильное устройство В. Электронный счетчик ЭС производит отсчет значения частоты перестраиваемого гетеродина $Г_2$ в данный момент времени. Этот же импульс, поступив на нижний вход коммутатора АК, вызовет его переключение, в результате которого к выходу См подключится фильтр нижних частот $Ф_2$. Переключение фильтра нижних частот показано на рис. 1.26*д*.

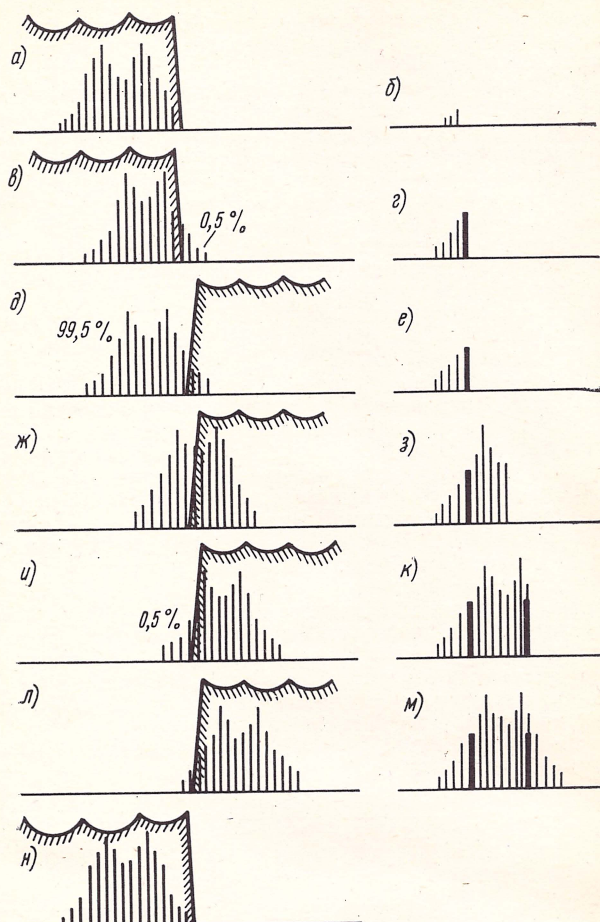


Рис. 1.26. Диаграммы, поясняющие работу прибора ИШПИ-1

В это время на правый вход СУ будет подаваться значительно бо́льшая мощность, чем на левый. При дальнейшем изменении частоты перестраиваемого гетеродина $Г_2$ спектр измеряемого сигнала будет выходить из полосы пропускания фильтра нижних частот $Ф_2$ (рис. 1.26*ж*) и мощность, выделяемая этим фильтром, будет уменьшаться. На ЭЛТ индикатора будут воспроизводиться последующие составляющие измеряемого спектра рис. 1.26*з*.

В тот момент, когда в полосе пропускания фильтра нижних частот останется 0,5% внеполосной мощности измеряемого сигнала (рис. 1.26*и*), мощности на

правом и левом входах СУ опять окажутся равными, что будет зафиксировано нуль-органом выдачей в схему второго импульса.

Этот импульс, поступив на осциллографический индикатор ОИ, произведет индикацию второй границы ширины занимаемой полосы частот на воспроизводимом спектре (рис. 1.6*к*). Одновременно этот же импульс откроет вход вентильного устройства В, а электронный счетчик произведет отсчет второго значения частоты перестраиваемого гетеродина $Г_2$ и автоматическое вычитание полученных значений частот. Разность частот будет воспроизведена цифровым индикатором. Таким образом будет получена ширина занимаемой полосы частот.

Под воздействием второго импульса нуль-органа, поступающего на вход управления АК, последний останется в прежнем положении и до конца цикла измерения фильтр нижних частот $Ф_2$ будет подключен к смесителю См (рис. 1.26*л*).

Цикл измерения закончится в момент окончания нарастания пилообразного напряжения генератора $Г_1$ и выдачей импульса обратного хода. К этому моменту осциллографический индикатор воспроизведет весь спектр измеряемого сигнала (рис. 1.26*м*) и спектр возможных радиопомех. Импульс обратного хода выделится селектором С и поступит на верхний вход управления АК, что снова вызовет подключение к кольцевому смесителю См фильтра верхних частот $Ф_1$ (рис. 1.26*н*). Далее цикл повторяется.

Отсчет ширины полосы частот на уровне *X* дБ осуществляется визуально по спектру, воспроизводимому на осциллографическом индикаторе с помощью частотных меток второго луча ЭЛТ.

В осциллографическом индикаторе применена двухлучевая ЭЛТ с длительным послесвечением. Один луч вычерчивает картину измеряемого спектра сигнала, а другой используется для получения частотных меток, которые подаются со специального генератора 215 кГц, входящего в состав прибора.

Узкополосный анализирующий фильтр АФ служит для последовательного анализа спектральных составляющих измеряемого сигнала, как описано в § 1.4. В приборе установлены три анализирующих фильтра с полосами пропускания на уровне — 3 дБ, равными 15, 50 и 150 Гц, и коэффициентом прямоугольности на уровне — 60 дБ, равным 4 . . . 6. Каждый анализирующий фильтр состоит из четырех кварцевых резонаторов.

Логарифмический усилитель Ус с детектором введен для удобства наблюдения и измерения составляющих спектра, а также отсчета ширины полосы частот радиоизлучения на уровне *X* дБ на экране ЭЛТ. Он осуществляет сжатие динамического диапазона измеряемого сигнала. Диапазон входных уровней логарифмического усилителя составляет не менее 60 дБ (10 мВ . . . 10 В).

Подробное описание работы принципиальной схемы прибора, порядок подготовки его к работе и проведения измерений содержатся в инструкции по эксплуатации прибора ИШПИ-1.

1.10. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР «КВАРЦ-5»

Основные технические характеристики. Измерительный прибор типа «Кварц-5» [2] предназначен для измерения ширины занимаемой полосы частот на передающих радиоцентрах и станциях технического радиоконтроля. Прибор «Кварц-5» работает совместно с приемными устройствами типа Р-323, с помощью которых перекрывается полоса измеряемых частот от 30 до 400 МГц. Прибор имеет входы, рассчитанные на фиксированные частоты 9±0,1; 25±0,2; 54,5±0,2 МГц. Напряжение входного сигнала составляет 1 . . . 10 мВ. Диапазон измеряемых значений ширины полосы равен 10 . . . 200 кГц. Максимальная полоса обзора обзорного устройства 400 кГц, минимальная — не более 50 кГц. Полоса пропускания узкополосного тракта на уровне — 3 дБ не более 5 кГц, на уровне — 40 дБ не более 20 кГц. Основная погрешность измерения ширины полосы частот составляет 10%, дополнительные погрешности при изменении температуры на каждые 10° не более 1,5%, при изменении питающего напряжения на ±10% — не более 5%. Погрешность отсчетных аттенюаторов не превышает ±1 дБ в динамическом диапазоне 40 дБ. Погрешность отсчета уровней в блоке панорамного устройства в логарифмическом масштабе не более 3 дБ во всем динамическом диапазоне не менее 40 дБ. Неравномер-

ность АЧХ прибора в полосе частот 400 кГц — не более 2 дБ. Уровень помех, обусловленный интермодуляционными искажениями для двух одинаковых монохроматических сигналов с расстройкой между ними более 50 кГц, ниже уровня измеряемых сигналов не менее чем на 40 дБ.

Прибор состоит из трех блоков, смонтированных в шкафу, комплекта запасных частей и монтажного комплекта. В первом блоке размещены источники питания прибора и частотомер, во втором — обзорное устройство и преобразователь частоты, в третьем — измеритель занимаемой ширины полосы частот и усилитель ВЧ, входящий в состав преобразователя.

Принцип работы прибора. В измерительном приборе «Кварц-5», так же как и в приборе ИШПИ-1, реализован метод измерения ширины занимаемой полосы частот путем сравнения средней мощности излучения с мощностями внеполосных излучений, выделяемых фильтрами верхних и нижних частот с каждого края спектра. Фильтры верхних и нижних частот имеют одну и ту же частоту среза.

Измеряемый сигнал с выхода первой ПЧ приемника Пр поступает на вход измерительного прибора. Так как ПЧ применяемых приемников имеют различные номиналы, то на входе прибора установлен (рис. 1.27) преобразователь П частот, поступающих с приемников соответственно в частоту 9 МГц. Переключение приемников осуществляется на передней панели переключателем «Приемник».

Таким образом, независимо от типа применяемого приемника, измеряемый сигнал с частотой 9 МГц поступает через фильтр ПФ с полосой 9±0,3 МГц на

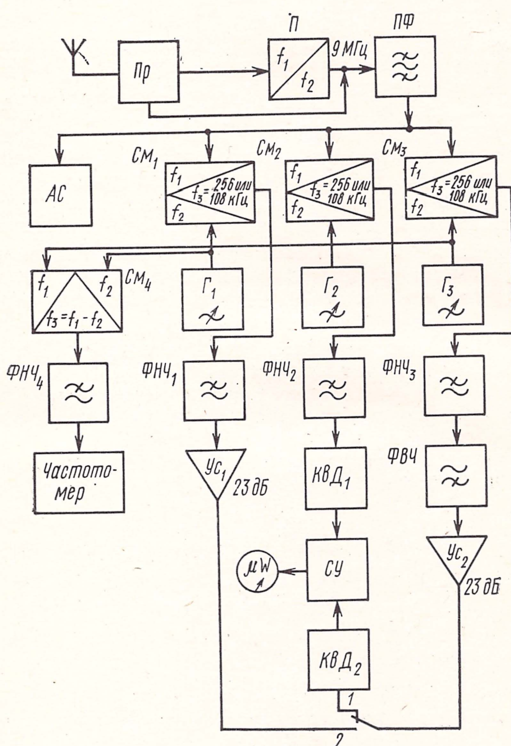


Рис. 1.27. Структурная схема прибора «Кварц-5»

три канала измерения мощностей и панорамное устройство (анализатор спектра АС).

В центральном канале прибора, состоящем из смесителя См$_2$, перестраиваемого гетеродина Г$_2$, ФНЧ$_2$ и квадратичного детектора КвД$_1$, измеряемый сигнал переносится с помощью преобразователя частоты См$_2$ и Г$_2$ из области со средней частотой 9 МГц в область частот 256 или 108 кГц в зависимости от измеряемой ширины полосы частот сигнала. После этого измеряемый сигнал отфильтровывается ФНЧ$_2$ от продуктов преобразования частоты сигнала, детектируется и поступает на верхний вход устройства сравнения мощностей СУ.

В правом канале спектр измеряемого сигнала также переносится преобразователем частоты, состоящим из смесителя См$_3$ и перестраиваемого гетеродина Г$_3$, в область со средней частотой 256 или 108 кГц и после ФНЧ$_3$ аналогично ФНЧ$_2$ в центральном канале поступает в измерительный ФВЧ. Фильтр верхних частот состоит из широкополосного фильтра со средней частотой 256 кГц и узкополосного — с частотой 108 кГц, чем и обеспечивается измерение ширины занимаемой полосы частот различных классов излучений в диапазоне от 10 до 200 кГц. После ФВЧ измеряемый внеполосный спектр усиливается усилителем Ус$_2$ на 23 дБ и подается на квадратичный детектор КвД$_2$, с которого поступает на нижних вход СУ.

Таким образом, изменяя частоту перестраиваемого гетеродина Г$_3$, можно добиться того, чтобы на СУ с правого канала подавалась такая же мощность, как и из центрального канала. Равенство мощностей будет зафиксировано стрелочным прибором μW. Так как в правом канале стоит усилитель мощности на 23 дБ, то мощность верхней измеряемой части спектра составит 0,5% от всей средней мощности. Напряжение с частотой гетеродина Г$_1$ одновременно будет подаваться на смеситель См$_4$ частотомера.

Аналогичные преобразования будут происходить с измеряемой нижней частью спектра в левом канале, состоящем из смесителя См$_1$, гетеродина Г$_1$, измерительного ФНЧ$_1$ и усилителя Ус$_1$. В этом канале нет надобности ставить дополнительный фильтр нижних частот, как в центральном и правом каналах (фильтры ФНЧ$_2$ и ФНЧ$_3$ соответственно). При установке переключателя в положение *2* на устройство сравнения СУ поступит нижняя часть измеряемого спектра, усиленная на 23 дБ. Путем перестройки гетеродина Г$_1$ добиваются равенства мощностей в схеме сравнения. Это равенство наступит тогда, когда в левом канале останется 0,5% всей средней мощности измеряемого сигнала.

В это время колебания частоты гетеродина Г$_1$ так же, как и гетеродина Г$_3$, будет подаваться на смеситель См$_4$, который осуществляет вычитание этих частот и через фильтр нижних частот ФНЧ$_4$ выдает разность в цифровой форме на частотомер.

Анализатор спектра АС служит для точной настройки измерительного прибора и приемника на частоту измеряемого сигнала. В анализаторе спектра применена двухлучевая ЭЛТ с длительным послесвечением. Один луч вычерчивает огибающую спектра измеряемого сигнала, а второй — частотные метки, с помощью которых можно наблюдать положение среза измерительных фильтров верхних и нижних частот относительно измеряемого спектра, как это было описано в предыдущем параграфе.

Из подробного рассмотрения метода фильтров верхних и нижних частот следует вывод, что, комбинируя один фильтр верхних частот и генератор с регулируемой частотой или два фильтра верхних (нижних) частот, частота среза которых может смещаться относительно измеряемого спектра сигнала, можно проводить измерения ширины занимаемой полосы частот с помощью специально сконструированных для этой цели измерительных приборов.

Однако эти методы имеют существенные погрешности измерений, которые можно разделить на две группы: погрешности сравнения мощностей и погрешности отсчета частот.

Первую группу составляют погрешности, возникающие из-за неидеальности характеристик измерительных фильтров и квадратичных преобразователей блоков сравнения мощностей, а также из-за неточности калибровки, определяемой погрешностью аттенюаторов. Кроме того, в полосы пропускания измерительных фильтров поступают напряжения частот гетеродинов и паразитных продуктов преобразования, чем вызываются дополнительные погрешности измерений.

Как правило, измерительные приборы, в которых реализуется метод сравнения мощностей, имеют ручной и автоматический режимы работы. В ручном режиме составляющие второй группы погрешностей незначительны. В автоматическом режиме погрешность увеличивается из-за запаздывания срабатывания нуль-органа при выполнении двух отсчетов и несинхронности работы нуль-органа и генератора временны́х интервалов.

В измерительном приборе ИШПИ-1 первая составляющая погрешностей оценивается в $\pm 5\%$, вторая — $\pm 12\%$ при полосе обзора анализатора спектра $П_0 = 0{,}6$ кГц и $\pm 6\%$ при $П_0 > 0{,}6$ кГц.

1.11. КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ ЧАСТОТ

Метод измерения ширины полосы частот по скорости убывания внеполосного спектра. Этот метод привлек внимание специалистов сравнительно давно. Основными его достоинствами являются повышенная помехоустойчивость и возможность измерять ширину полосы частот на различных уровнях в условиях замираний сигналов, сигналов с асимметричными внеполосными спектрами, т. е. проводить измерения сигналов действительных сообщений на станциях технического радиоконтроля, удаленных на сотни километров от измеряемого передатчика.

Работа простейшего устройства, в котором реализован метод измерения ширины полосы частот по скорости убывания внеполосного спектра (рис. 1.28), основана на аппроксимации прямой линией участка огибающей спектра вблизи каждой границы занимаемой полосы частот при логарифмическом масштабе по оси напряжений и линейном масштабе по оси частот.

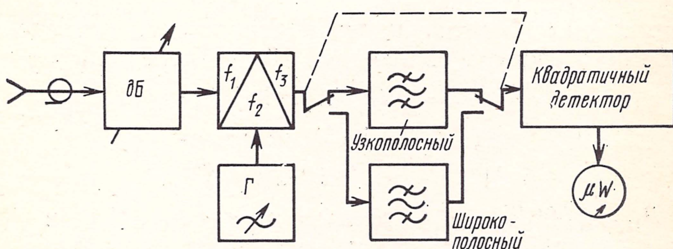


Рис. 1.28. Структурная схема установки для измерения ширины полосы частот по скорости убывания внеполосного спектра

Измерительное устройство имеет широкополосный и узкополосный полосовые фильтры. Широкополосный ПФ выбирают с таким расчетом, чтобы через него проходил весь измеряемый спектр сигнала, т. е. $\Delta F_{т} \approx B_{н}$. Узкополосный полосовой фильтр рассчитывают на полосу отдельных составляющих по аналогии с анализирующими фильтрами анализаторов спектра (см. § 1.4). Коэффициенты пропускания в полосах пропускания обоих фильтров должны быть равными.

При включении широкополосного полосового фильтра гетеродин подстраивают так, чтобы спектр измеряемого сигнала полностью совпал с полосой пропускания этого фильтра. Тогда индикатор зафиксирует всю среднюю мощность излучения $P_{ср}$, а его отклик $M_{ш}$ будет равен

$$M_{ш} = \rho P_{ср}, \qquad (1.14)$$

где ρ — коэффициент пропорциональности.

При включении узкополосного фильтра и совмещении с помощью перестраиваемого гетеродина его средней частоты с частотой $f_{у}$, лежащей в пределах полосы измеряемого участка спектра, отклик индикатора $M_{у}$ в этом случае будет пропорционален спектральной плотности мощности излучения на этой частоте $S_{у}$ и эффективной ширине полосы пропускания $\Delta F_{у}$ этого фильтра:

$$M_{у} = \rho S_{у} \Delta F_{у}. \qquad (1.15)$$

Из уравнения прямой, аппроксимирующей рассматриваемый участок спектра

$$10 \lg S(f) - 10 \lg S_{у} = K(f - f_{у}),$$

где $K = m/\Delta f$, а m — число децибел, приходящихся на полосу частот Δf, выводится функциональная зависимость

$$S(f) = S_{у} \cdot 10^{(m/10\,\Delta f)\,(f_{у} - f)}. \qquad (1.16)$$

Мощность $P_{у}$ на частотах, отличных от частоты $f_{у}$, связана с этой зависимостью формулой

$$P_{у} = \int_{f_{у}}^{\infty} S(f)\,df = S(f_{у}) \frac{10\,\Delta f}{\ln 10\, m}. \qquad (1.17)$$

Приняв $m = 10$ дБ и обозначив полосу частот, в пределах которой огибающая спектра спадает на 10 дБ, через Δf_{m} получим

$$P_{1у} = S(f_{у}) (\Delta f_{m} / \ln 10). \qquad (1.18)$$

Подставляя $S(f_{у})$ из (1.18) в (1.15), получаем

$$M_{1у} = \rho (P_{1у} \ln 10 / \Delta f m) \Delta F_{у}. \qquad (1.19)$$

Если $P_{1у} = 0{,}005 P_{ср} = P_{вн}$, то в формулах (1.15) и (1.19) $S_{у}$ означает спектральную плотность мощности на границе занимаемой полосы частот, а $M_{1у}$ — отклик индикатора при совмещении средней частоты полосового фильтра с граничной частотой занимаемой полосы.

Взяв отношение (1.19) к (1.14) и выразив его в децибелах, получим расчетное значение измерительного уровня

$$X_{1и} = 10 \lg \Delta F_у \ln 10 \rho / \Delta f_m. \quad (1.20)$$

Таким образом, по известным величинам Δf_m и $\Delta F_у$ рассчитывают требуемое отношение $M_{1у}/M_ш$, и после установки этого отношения с помощью индикатора определяют ширину занимаемой полосы частот по соответствующему значению сдвига спектра.

При дальнейшей разработке этого метода было установлено, что Δf_m можно определять не только по внеполосной, но и по внутриполосной части спектра, если в пределах этого участка сохраняется тот же закон изменения $S(f)$.

Однако описанное устройство обладает малой оперативностью измерений, так как огибающие спектров большинства излучений лучше аппроксимируются прямой в двойном логарифмическом масштабе. Поэтому приходится проводить несколько проб, пока результаты измерений не совпадут с результатами расчетов по формуле (1.20). Кроме того, измерения необходимо проводить на обоих краях спектра, что также занимает много времени. С учетом преимуществ, присущих простейшему устройству (см. рис. 1.28), о которых было сказано выше, и благодаря устранению недостатков разработаны [8] автоматические приборы для измерения ширины полосы частот по скорости убывания внеполосного спектра.

Измерение ширины занимаемой полосы частот излучений классов A1 и F1. Измерения ширины занимаемой полосы частот излучений классов A1 и F1 описанными в § 1.4 и 1.8 методами часто приводят к значительным погрешностям из-за узкополосности излучения A1 и малой зависимости ширины занимаемой полосы частот от формы манипулирующих импульсов излучения F1, хотя распределение мощности внеполосных излучений сильно зависит от этой формы. Погрешности измерений возрастают при измерении спектров сигналов действительных сообщений излучений классов A1 и F1 в условиях радиопомех и замираний сигналов.

Вместе с тем ширина занимаемой полосы частот телеграфных классов излучений однозначно связана с относительным временем установления импульсов. Поэтому рекомендуется [2] проводить измерения ширины занимаемой полосы частот излучений классов A1 и F1 косвенным методом по относительному времени установления телеграфного сигнала (импульса) к длительности сигнала (импульса) на половине его амплитуды.

Время установления телеграфного сигнала — это время, в течение которого ток телеграфного сигнала изменится от 0,1 до 0,9 (или наоборот) значения, достигаемого в установившемся режиме. В случае асимметричного сигнала время установления в начале и конце сигнала может быть различным.

Измерение этим методом состоит из двух частей: измерения относительного времени установления манипулирующих сигналов и расчета ширины занимаемой полосы частот.

Относительное время установления сигналов испытуемого передатчика, работающего в режиме A1, измеряют с помощью осциллографа со ждущей разверткой, подключенного непосредственно к выходу ПЧ приемника. Для этой цели может использоваться приемник Р-250М, который имеет выход ПЧ, равной 215 кГц. Для измерения излучений F1 измерительная установка дополняется частотным демодулятором, подключаемым к выходу ПЧ 215 кГц. К выходу демодулятора подключается осциллограф.

Специально разработанный для этой цели [2], частотный демодулятор к приемнику Р-250М служит для демодуляции излучений класса F1 с целью проведения косвенных измерений ширины занимаемой полосы частот по относительному времени установления манипулирующих сигналов. Амплитудно-частотная характеристика демодулятора (рис. 1.29*а*) линейна в пределах от 210 до

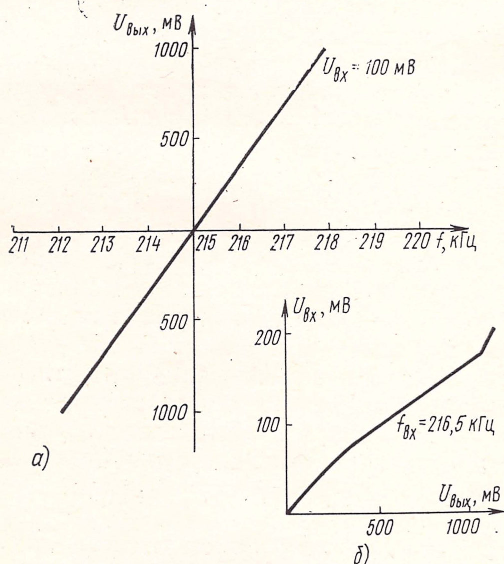


Рис. 1.29. Характеристики демодулятора:
а — амплитудно-частотная; *б* — амплитудная

220 кГц при $U_{вх}=100\pm20$ мВ. Выходное напряжение на частоте $216{,}5\pm0{,}1$ кГц при входном напряжении $U_{вх}=100\pm20$ мВ не менее 5 В. Выход демодулятора обеспечивает подключение любого осциллографа с усилителем постоянного тока. Амплитудная характеристика демодулятора приведена на рис. 1.29*б*.

Измерение проводится в следующей последовательности. Собирают измерительную установку, состоящую из приемника, частотного демодулятора и осциллографа. Подготовку к работе и настройку осциллографа производят в соответствии с инструкцией по эксплуатации данного прибора. Настраивают приемник на частоту измеряемого сигнала и по ЭЛТ осциллографа добиваются

оптимальной настройки по частоте, усилению и ширине полосы пропускания приемника. По временным меткам на экране ЭЛТ осциллографа измеряют время установления и длительность телеграфных сигналов. Если импульсы асимметричны (длительность фронта не равна длительности спада), то для дальнейших расчетов принимают меньшее из полученных значений.

Вторая часть измерений состоит из расчета относительного времени установления манипулирующих сигналов, которое определяется как отношение $\Theta = t_{уст}/\tau_{0,5}$, где $t_{уст}$ — время установления телеграфного сигнала в секундах, а $\tau_{0,5}$ — длительность сигнала (импульса) на уровне половины его амплитуды, в секундах.

Ширину занимаемой полосы частот излучений класса A1 рассчитывают по эмпирической формуле

$$B_з = [1/(\theta + 0{,}05) - 1]\, B. \qquad (1.21)$$

Для излучений класса F1 используют формулу

$$B_з = Д\,[2 + (3 - 4\sqrt{\theta})\, m^{-0,6}], \qquad (1.22)$$

где $Д$ — максимальная девиация частоты, определяемая как половина разноса между максимальным и минимальным значениями мгновенной частоты, в герцах; m — индекс частотной модуляции (манипуляции), $m = 2Д/B$.

Из рассмотрения метода измерений ширины занимаемой полосы частот излучений классов A1 и F1 по относительному времени установления импульсов следует, что он обладает сравнительно высокой точностью результатов измерений. Измерения относительного времени установления импульсов и длительности сигнала выполняются с достаточной точностью даже при селективных замираниях сигналов действительных сообщений, чего нельзя было сказать о методах, рассмотренных в § 1.4 и 1.8.

Максимальное расхождение между результатами, полученными с помощью формулы (1.21), и результатами точных расчетов составляет $2B$, когда $\Theta < 0{,}02$, и B, когда $\Theta > 0{,}02$.

Аналогичные расхождения результатов, полученных с помощью формулы (1.22), составляют:

3% при $\theta = 0$; $2 \leqslant m \leqslant 20$;
9% при $\theta = 0{,}08$; $1{,}4 \leqslant m \leqslant 20$;
10% при $\theta = 0{,}24$; $2 \leqslant m \leqslant 20$.

Метод измерения по среднему квадратическому значению девиации частоты. Известно, что девиация частоты зависит от уровня сигнала, подаваемого на вход передатчика. Уровень входного сигнала обычно контролируется.

Расчеты, проведенные при аппроксимации модулирующего сигнала стационарным процессом с нормальным законом распределения, показывают, что в этом случае ширина занимаемой полосы частот определяется средним квадратическим значением девиации частоты $Д$:

$$B_з \approx 5{,}16\, Д. \qquad (1.23)$$

При нелинейных искажениях в тракте передатчика, т. е. при законе распределения, отличающемся от нормального, ширина занимаемой полосы частот будет также определяться средним квадратическим значением девиации частоты и с точностью до 20% может быть определена по формуле (1.23). Поэтому измерение ширины занимаемой полосы частот при ЧМ можно проводить косвенным методом путем измерения девиации частоты и расчета по формуле (1.23).

Измерительная установка для измерения девиации частоты *Д* состоит из приемника, к выходу ПЧ которого подключается девиометр. К выходу девиометра подключается квадратичный вольтметр, постоянную времени которого устанавливают равной 0,1 с. Таким образом измеряют девиацию частоты и проводят расчет по приведенной выше формуле.

Описанный метод имеет большие погрешности (до 20%) и может применяться при приближенных измерениях ширины полосы частот спектров ЧМ сигналов.

1.12. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ РАДИОПЕРЕДАТЧИКА

Излучаемая передающим устройством мощность является важным параметром, влияющим на электромагнитную совместимость РЭС. Мощность основного излучения, как правило, нормируется. Правда, в некоторых полосах частот, используемых радиовещанием, нормируются защитные отношения по совмещенному и смежному каналам, а также минимально допустимые значения напряженности поля сигнала. Эти параметры непосредственно связаны с излучаемой передающим устройством мощностью. Однако это один из примеров косвенного нормирования основного излучения передающих устройств.

По определению [9] мощность передатчика выражается пиковой мощностью, средней мощностью или мощностью несущей.

Пиковая мощность передатчика — это средняя мощность, подводимая к фидеру антенны нормально работающим передатчиком в течение одного высокочастотного цикла, соответствующего максимальной амплитуде модуляционной огибающей. Пиковую мощность принято [14] считать номинальной мощностью однополосных передатчиков.

Средняя мощность передатчика — это мощность, подводимая к фидеру антенны нормально работающим передатчиком, усредненная в течение промежутка времени, достаточно длительного по сравнению с периодом наиболее низкой частоты. Обычно выбирают промежуток времени 1/10 с, в течение которого средняя мощность является максимальной.

Мощность несущей передатчика — это средняя мощность, подводимая к фидеру антенны передатчиком в течение одного высокочастотного цикла при отсутствии модуляции. Это определение не применимо к излучению с импульсной модуляцией.

Мощность несущей принято [14] считать номинальной мощностью для телефонных передатчиков радиосвязи и радиовещания с амплитудной модуляцией (режим А3).

Соотношения между пиковой мощностью, средней мощностью и мощностью несущей приведены в Рекомендации 326-3 МККР [15].

Импульсная мощность $P_и$ определяется (рис. 1.30*а*) как среднее значение мощности за время длительности τ одного прямоугольного импульса:

$$P_и = \int_0^T uidt/\tau = 0{,}5\, U_m I_m.$$

Мощность импульсов произвольной, отличной от прямоугольной формы, определяют по эквивалентному прямоугольному импульсу (рис. 1.30*б*) той же амплитуды. Длительность эквивалент-

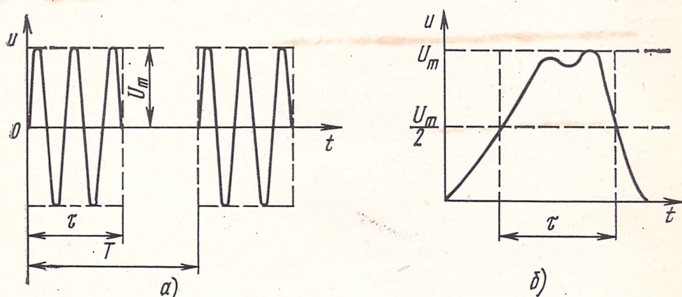


Рис. 1.30. К определению импульсной мощности:
а — прямоугольный; *б* — произвольный импульс

ного импульса равна интервалу времени между точками огибающей импульса на уровне половины его амплитуды. В этом случае среднее значение мощности $P_{ср}$ за период T следования импульсов определяется выражением

$$P_{ср} = \frac{1}{T}\int_0^T uidt = \frac{U_m I_m}{2}\,\frac{\tau}{T} = P_и \frac{\tau}{T}.$$

Мощность излучения передатчиков измеряют ваттметрами в абсолютных (ватты) или относительных (децибелы) единицах. Однако часто ее проще определить косвенным путем по величине измеренного напряжения или тока. В первом случае необходимо определить активную составляющую входного сопротивления фидера, а во втором — активную составляющую его входной проводимости и провести расчеты по известным в электротехнике формулам.

Наиболее распространенные общие методы измерения мощности передатчиков достаточно полно освещены в [11 и 12]. Рассмотренные ниже методы измерения излучаемой передающими устройствами мощности имеют некоторую специфику.

Мощность передатчика, имеющего эквивалент антенны с водяным охлаждением, измеряют калориметрическим методом. Для этого настраивают передатчик в режим, соответствующий работе на антенну, а мощность P определяют по количеству тепла Q в килокалориях, выделенного в воде в течение времени t, т. е. $P=Q/0{,}24t$. Количество тепла в килокалориях определяют по разнице температур T_2 (конечной) и T_1 (начальной) в объеме воды A за то же время t: $Q=A(T_2-T_1)$.

Мощность передатчиков с водяным охлаждением анодов ламп определяют косвенным методом по измеренным значениям анодных токов и напряжений этих ламп и количеству тепла, отдаваемого охлаждающей водой. При измерении мощности этим методом передатчик настраивают в динамическом и статическом режимах. В динамическом режиме после 15—20 мин работы, когда температура воды в системе охлаждения установится, измеряют по показаниям приборов и термометров анодное напряжение $E_{а.дин}$ и суммарный анодный ток $I_{а.дин}$ оконечной и соответственно $E_{а.пр}$ и $I_{а.пр}$ — предоконечной ступеней, катодные токи ламп оконечного каскада $I_{к1}, I_{к2}, \ldots, I_{кn}$ (n — число ламп в оконечном каскаде), а также температуру воды на входе $t_{вх.\,дин}$ и на выходе системы охлаждения каждой лампы оконечного каскада $t_{1\,дин}$, $t_{2\,дин}, \ldots, t_{n\,дин}$.

Затем передатчик переводят в статический режим работы при пониженном напряжении смещения и после установления температуры в системе охлаждения измеряют анодное напряжение $E_{а.ст}$ и суммарный анодный ток $I_{а.ст}$ оконечной ступени, а также температуру воды на входе системы охлаждения анодов ламп $t_{вх.\,ст}$ и на выходе системы охлаждения каждой лампы $t_{1\,ст}$, $t_{2\,ст}, \ldots, t_{n\,ст}$ оконечного каскада.

Для проведения расчетов определяют суммарную мощность накала ламп $P_{нак}$, сопротивление ограничительного резистора в цепи анода $P_{огр}$ и катодных резисторов $R_к$ оконечного каскада. По измеренным значениям рассчитывают мощность, потребляемую анодными цепями ламп оконечного каскада в динамическом режиме $P_0=I_{а.дин}(E_{а.дин}-R_{огр}I_{а.дин}-R_кI_{к.ср})$, где $I_{к.ср}=(I_{к1}+I_{к2}+\ldots+I_{кn})/n$, и мощность, потребляемую анодной цепью оконечного каскада в статическом режиме, $P_{а.ст}=I_{а.ст}(E_{а.ст}-R_{огр}I_{а.ст}-R_кI_{а.ст}/n)$.

Затем рассчитывают удельное значение мощности $P_{уд}$, отводимой водой $P_{уд}=(P_{а.ст}+P_{нак})/\Delta t_{ст}$, где $\Delta t_{ст}$ — среднее значение перепада температуры в статическом режиме:

$$\Delta t_{ст}=(t_{1\,ст}+t_{2\,ст}+\ldots+t_{n\,ст})/n-t_{вх.ст}.$$

По среднему значению перепада температуры $\Delta t_{дин}$, определяемому как

$$\Delta t_{дин}=(t_{1\,дин}+t_{2\,дин}+\ldots+t_{n\,дин})/n-t_{вх.дин},$$

рассчитывают мощность, рассеиваемую на анодах ламп оконечного каскада в динамическом режиме $P_{а.дин}=P_{уд}\Delta t_{дин}-P_{нак}$.

При этом мощность, отдаваемая оконечным каскадом, $P_{о.к} = P_0 - P_{а.дин}$, а мощность потерь в выходной контурной системе $P_{пот} \approx (0{,}03 \ldots 0{,}05) P_{о.к}$. Мощность на выходе передатчика $P = P_{о.к} - P_{пот}$.

Пиковую мощность однополосных передатчиков измеряют [15] калиброванным по напряжению осциллографом, подключаемым к фидеру антенны через соответствующие элементы связи так, чтобы на его экране получить изображение выходного напряжения и его огибающей. Подавляется несущая передатчика. Калибруется измерительный тракт путем модуляции передатчика синусоидальными колебаниями с тем, чтобы на экране осциллографа получить среднюю выходную мощность, составляющую около половины пиковой мощности огибающей. Измеряют среднюю мощность передатчика $P_{ср}$ по методике, определенной инструкцией по эксплуатации, и пиковое напряжение $U_к$ на экране осциллографа (рис. 1.31).

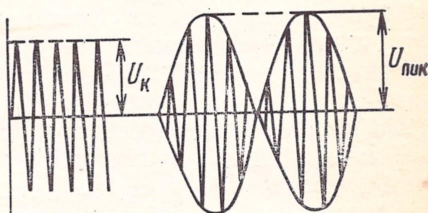


Рис. 1.31. К определению пиковой мощности передающего устройства.

Одно синусоидальное колебание заменяют двумя с частотами $f_1 = (700 \ldots 1100)$ Гц и $f_2 = (1700 \ldots 2500)$ Гц (при полосе пропускания звуковых частот 300 Гц ... 3 кГц). Уровень двухтонального сигнала не должен превышать допустимых значений. Затем измеряют на экране осциллографа пиковое напряжение $U_{пик}$ (см. рис. 1.31), а пиковую мощность рассчитывают по формуле $P_{пик} = P_{ср} (U_{пик}/U_к)^2$.

Аналогично можно определять пиковую мощность двухполосных или однополосных передатчиков с амплитудной модуляцией при полной несущей. Для этого измеряют на экране осциллографа амплитуду сигнала несущей $U_{нес}$ и его среднюю мощность $P_{ср.нес}$. Затем передатчик модулируют двухтоновым сигналом с помощью метода, аналогичного описанным выше. Измеряют пиковое напряжение, полученное на экране осциллографа. Пиковую мощность рассчитывают по формуле $P_{пик} = P_{ср.нес} (U_{пик}/U_{нес})^2$.

Глава вторая

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОБОЧНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

2.1. ПОБОЧНЫЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Побочное радиоизлучение — нежелательное радиоизлучение, возникающее в результате любых нелинейных процессов в радиопередающем устройстве, кроме процесса модуляции. Уровни побочных радиоизлучений могут быть снижены без ухудшения качества

передачи сигнала [1]. Побочные излучения в зависимости от причин образования делятся на излучения на гармониках (субгармониках), комбинационные, паразитные и интермодуляционные. К ним не относятся излучения, которые образуются в результате модуляции передатчика и находятся в непосредственной близости от границ занимаемой полосы частот.

Радиоизлучение на гармонике — побочное радиоизлучение на частотах, кратных частотам основного радиоизлучения. В передающих устройствах метрового диапазона и более длинных волн они образуются в высокочастотных контурах, работающих в режимах с углом отсечки $\theta < 180°$. Для $\theta = (75 \ldots 90)°$ амплитуду n-й гармоники I_n можно вычислить [5], если известен размах импульса I_m и коэффициент разложения $a_n(\theta)$: $I_n = I_m a(\theta)$.

В передающих устройствах дециметрового диапазона и более коротких волн побочные излучения формируются в выходных электровакуумных приборах, в которых из-за конструктивных и энергетических особенностей наряду с основным колебанием образуются побочные колебания на гармониках. Например, уровень мощности второй гармоники магнетронов достигает —(30 ... 40) дБ относительно мощности основного колебания. Уровень мощности второй гармоники ЛБВ ниже уровня мощности основного колебания на 20 . . . 30 дБ, а у широкополосных ЛБВ — на 5 . . . 10 дБ.

Токи гармоник поступают в антенну и вызывают побочные излучения в полосах более высоких частот, создавая тем самым радиопомехи другим РЭС.

Колебания на гармониках становятся наиболее опасными, когда в усилителе мощности или в выходном контуре передатчика образуются резонансные цепи на частотах гармоник. Если условие резонанса для частоты одной из гармоник выполняется, то ее уровень становится недопустимо большим. Однако при правильном конструировании передатчика снижение уровней колебаний гармоник на 40 . . . 60 дБ по отношению к уровню основного колебания не встречает особых технических трудностей.

В некоторых передатчиках основная частота формируется из более низких частот, стабилизированных кварцем. В таких передатчиках применяют умножители частоты и усилители, которые, несмотря на принятые меры, усиливают колебания низких частот, кратных частоте основного колебания. Их называют субгармониками.

Радиоизлучение на субгармонике — побочное радиоизлучение на частотах, в целое число раз меньших частоты основного радиоизлучения [1]. Колебания субгармоник поступают в антенну передающего устройства и создают побочные излучения на частотах субгармоник.

Комбинационное радиоизлучение — побочное радиоизлучение, возникающее в результате взаимодействия в нелинейных элементах радиопередающего устройства колебаний на несущей частоте и(или) формирующих несущую и их гармоники [1]. Побочные комбинационные излучения характерны для передающих устройств, в

составе которых имеются диапазонные возбудители частоты. Частота основного колебания в таких возбудителях получается делением, сложением или вычитанием двух частот или их гармоник, одна из которых отличается высокой стабильностью.

Как правило, преобразование частоты осуществляется с помощью смесителя, который, будучи нелинейным элементом, при воздействии двух частот способен выделить на выходе богатый спектр основных частот и их гармоник. Нужную частоту обычно выделяют фильтром, от характеристики которого зависит степень ослабления нежелательных комбинационных частот. Поэтому фильтр на выходе смесителя делают узкополосным, пропускающим только основное колебание. Побочные комбинационные колебания, попадающие в полосу задержания, ослабляются на 50 . . . 80 дБ в зависимости от конструкции фильтра. В некоторых возбудителях применяют перестраиваемые фильтры, которые характеризуются меньшим ослаблением комбинационных частот.

Комбинационные колебания усиливаются последующими контурами передатчика и излучаются антенной.

Паразитное радиоизлучение — побочное радиоизлучение, возникающее в результате самовозбуждения радиопередатчика из-за паразитных связей в его каскадах и в генераторных и усилительных приборах [1]. Паразитные колебания возникают в различных реактивных элементах схем ламповых передатчиков, для которых выполняются условия самовозбуждения. Такие колебания могут возникать в дросселях. Так как в дросселях преобладает индуктивное сопротивление, то согласно известной формуле $f=1/\sqrt{LC}$ частота f «дроссельных» паразитных колебаний на порядок ниже частоты основного колебания передатчика. При параллельном соединении нескольких ламп выходного контура передатчика, работающего по схеме нейтрализации, паразитные колебания образуются за счет индуктивности соединительных проводов, выводов ламп и их межэлектродной емкости. Частота этих колебаний выше частоты основного колебания. Например, паразитные излучения, создаваемые передающим устройством диапазона декаметровых волн, нередко являются радиопомехами РЭС для диапазонов метровых и даже дециметровых волн.

Аналогичные паразитные колебания значительной величины могут возникать в передатчиках с двухтактными выходными контурами, в схемах нейтрализации выходных контуров передатчика и в цепях с отрицательным сопротивлением. Причиной паразитных колебаний может быть динатронный эффект выходных ламп передатчика. В передатчиках колебаний более высоких частот выходную мощность формируют электровакуумные приборы, которые также генерируют паразитные колебания. Кроме того, паразитные колебания могут образоваться в схеме такого передатчика.

Из изложенного следует, что образование паразитных колебаний не связано с формированием частоты основного излучения и каждый случай их возникновения следует рассматривать отдельно. Мощность паразитных колебаний может быть значительной. Об-

разованные в контурах, непосредственно связанных с антенной, паразитные побочные колебания создают радиопомехи работе другим РЭС на непредвиденных частотах.

Интермодуляционное радиоизлучение — побочное радиоизлучение, возникающее в результате воздействия на нелинейные элементы высокочастотного тракта радиопередающего устройства генерируемых колебаний и внешнего электромагнитного поля [1].

Интермодуляционные побочные излучения образуются в передающем устройстве в результате воздействия на этот передатчик излучений одного или нескольких передающих устройств вследствие нежелательных электромагнитных связей между ними. Этот вид побочных излучений характерен для передатчиков радиопередающих центров и для совместной работы передатчиков на подвижных объектах (самолетах, кораблях, автомобилях и т. д.). Излучения мешающего передающего устройства могут влиять на выходные контуры, а при определенных условиях — на фидер и антенну передающего устройства, вызывая в нем интермодуляционные излучения.

Побочные излучения количественно характеризуются абсолютной, относительной или эквивалентной излучаемой мощностью, которую выражают через напряженность поля, плотность потока мощности или, косвенно, через напряжение или мощность колебаний в фидере антенны на частотах побочных излучений.

Абсолютное значение мощности побочного излучения выражают через плотность потока мощности $П_{п.и}$ или напряженность поля $E_{п.ч}$, а для фидерных линий — через среднюю мощность $P_{п.к}$ или напряжение $U_{п.к}$, подаваемые передатчиком в фидер антенны на частоте побочных излучений.

Относительное значение мощности побочного излучения $П_{отн}$ — это отношение плотности потока мощности $П_{п.и}$ или напряженности поля $E_{п.и}$ побочного излучения к плотности потока мощности $П_0$ или напряженности поля E_0 основного излучения, взятых в одних и тех же единицах измерения и выраженных в децибелах:

$$П_{отн} = 10 \lg (П_{п.ч}/П_0); \quad П_{отн} = 20 \lg (E_{п.ч}/E_0). \qquad (2.1); (2.2)$$

Относительные уровни мощности $P_{отн}$ или напряжения $U_{отн}$ побочного колебания в фидере антенны соответственно равны:

$$P_{отн} = 10 \lg (P_{п.к}/P_0); \quad U_{отн} = 20 \lg (U_{п.к}/U_0), \qquad (2.3); (2.4)$$

где P_0 и U_0 — средние значения мощности и напряжения основного колебания, выраженные в тех же, что и $P_{п.к}$ и $U_{п.к}$, единицах измерения.

Часто измеряют не плотность потока мощности, а его спектральную плотность S, значение которой определяют по формуле

$$S = П/\Delta f, \qquad (2.5)$$

где Δf — эффективная полоса пропускания измерителя.

Эквивалентная плотность потока мощности или напряженность поля побочных излучений — это максимальная плотность потока

мощности или напряженность поля, создаваемые побочными излучениями, равными заданной норме и приведенные к конкретному расстоянию (для [10] — 5 км).

2.2. ПРИНЦИПЫ НОРМИРОВАНИЯ

Нормирование побочных излучений передающих устройств в международном масштабе началось с 50-х годов, когда МККР была принята Рекомендация 329, которая в 1959 г. была включена в ст. 12 Регламента радиосвязи [9]. Рекомендация 329 пересматривалась в 1966 и 1972 гг. на XI и XII Пленарных Ассамблеях Международного союза электросвязи.

В нашей стране временные общесоюзные нормы на побочные излучения передающих устройств введены с 1961 г. Этими нормами ограничивались побочные излучения передающих устройств, основные излучения которых находились в полосе частот до 235 МГц. С 1 июля 1972 г. введены новые нормы [10], которыми нормированная полоса расширена до 960 МГц.

За величину мощности побочного излучения принята [9, 10] средняя мощность, подаваемая передатчиком в фидер антенны на частоте побочного излучения, выраженная в абсолютных или относительных единицах.

Например, для передающих устройств, имеющих диапазон основных частот ниже 30 МГц, средняя мощность любого побочного колебания, подаваемого передатчиком в фидер антенны, должна быть [10] ниже мощности основного колебания на 40 дБ и не превышать при этом 50 мВт. Относительная норма для переносных передатчиков снижена до — 30 дБ, а для побочных излучений передатчиков подвижной службы установлена норма 20 мВт. Для передатчиков, использующих полосу частот 30 . . . 235 МГц и имеющих среднюю мощность до 25 Вт, относительная мощность побочных излучений установлена равной — 40 дБ, а абсолютная — не более 25 мкВт. В передатчиках этой же полосы, но со средней мощностью излучения от 25 Вт до 1 кВт побочные излучения должны быть снижены на 60 дБ, а в передатчиках мощностью свыше 1 кВт побочные излучения не должны превышать 1 мВт.

Такой же принцип нормирования побочных излучений передающих устройств принят в международных нормах [9]; их относительные значения соответствуют графикам на рис. 2.1. В отличие от общесоюзных норм [10] международными нормами нормируются также побочные излучения от оборудования передающих устройств. Любое побочное излучение от оборудования передающего устройства не должно вызывать большего эффекта, чем если бы к антенне передатчика подводилась максимально допустимая мощность на частоте этого побочного излучения.

Нормы [9, 10] не распространяются на передатчики РЭС спасательных средств, аварийные (резервные) передатчики воздушной, морской подвижных служб и все передатчики службы радиоопределения.

Следует отметить, что принцип нормирования побочных излучений по средней мощности побочных колебаний, подаваемых передатчиком в фидер антенны на частоте побочных излучений, является косвенным.

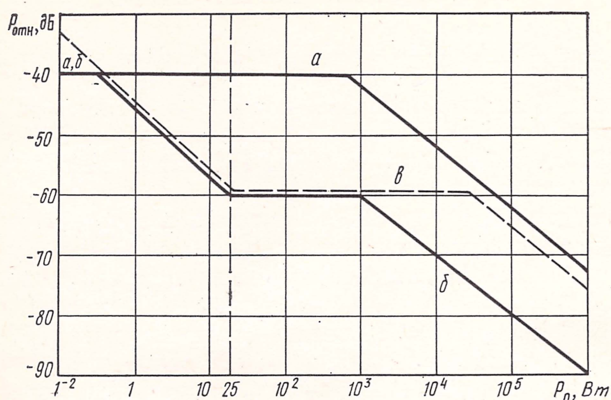


Рис. 2.1. Нормы МККР на побочные излучения. Полосы частот основного излучения:
а — 10 кГц...30 МГц; *б* — 30...235 МГц; *в* — 235...960 МГц. $P_{отн} = 10 \lg (P_{п.к}/P_0)$

Для контроля норм [10] напряженности поля побочных излучений на основании теоретических расчетов и измерений в реальных условиях эксплуатации с учетом конкретных антенно-фидерных систем, параметров почвы и других факторов установлены допустимые значения эквивалентной напряженности поля побочных излучений передающих устройств декаметровых волн.

Например, для передатчика мощностью 50 кВт и более мощность побочных колебаний в фидере антенны установлена — 60 дБ относительно основного излучения, а допустимая эквивалентная напряженность поля побочных излучений $E_{экв} = 0{,}001 E \sqrt{P_о}$, где E — напряженность поля, мкВ/м, соответствующая мощности побочного излучения 1 Вт на входе фидера на расстоянии 5 км от антенно-фидерной системы; $P_о$ — мощность основного излучения передатчика, Вт.

Для антенн типа РГД максимальное значение вертикальной составляющей напряженности поля E второй гармоники равно 330, третьей — 400, четвертой — 550, пятой — 600 мкВ/м, для антенны типа ВГДШ — соответственно 140, 45, 65 и 55 мкВ/м. Еще больший разброс E имеют другие виды побочных излучений, которые расположены в полосе $\pm 10\%$ от основной частоты. Для антенны ВГДШ в зависимости от изменения влажности почвы E изменяется от 10 до 75 мкВ/м, а для системы РГД — от 65 до 350 мкВ/м, т. е. примерно в 5 раз.

Приведенные примеры показывают, что между напряженностями полей основного и побочных излучений не существует опреде-

ленной зависимости, что объясняется в первую очередь, значительной разницей между частотами названных излучений. Эта разница влияет как на условия излучения антенно-фидерной системой тех или иных побочных излучений, так и на условия их распространения в пространстве.

2.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Абсолютное значение мощности побочных излучений передающих устройств определяют путем измерения напряженности поля или плотности потока мощности, создаваемого данным побочным излучением в дальней от передатчика зоне[1] или путем измерения напряжения или мощности побочных колебаний в фидерной линии на частоте данного побочного излучения[2].

Относительный уровень мощности побочных излучений рассчитывают по данным измерений напряженности поля или плотности потока мощности, создаваемых основным и данным побочным излучениями в дальней от передатчика зоне или по данным измерения напряжения или мощности основного и данного побочного колебаний, подаваемых передатчиком в фидерную линию.

В обоих случаях первый метод является прямым, а второй — косвенным методом определения мощности побочных излучений, хотя виды измерений в этих случаях могут быть как прямыми, так и косвенными.

Первый метод позволяет делать наиболее правильные выводы об уровнях мощности побочных излучений, т. е. оценивать эти излучения как радиопомехи РЭС другим службам. Во многих случаях для передатчиков дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн этот метод является единственным.

Однако, как будет показано ниже, для проведения измерений этим методом необходимы специальные измерительные приборы и значительное время.

Измерения побочных излучений по полю включают в себя несколько прямых и косвенных методов, различных по аппаратуре, измерительным установкам и методике проведения. К прямым относится измерение побочных излучений с помощью измерительного приемника или измерителя напряженности поля с подключением к его входу измерительным фильтром, ослабляющим основное излучение передающего устройства. В случае, когда основное излучение не может быть отделено измерительным фильтром от побочных, применяется метод замещения. Этот метод является единственным для побочных излучений, частоты которых находятся на небольшом (10...15%) удалении от частоты основного излучения, что характерно для паразитных комбинационных и интермодуляционных побочных излучений.

---

[1] Дальняя зона — расстояние между передающей и измерительной антеннами, равное нескольким длинам волн (определение дальней зоны см. § 2.9).

[2] Для краткости такие измерения дальше будут называться измерениями по полю или измерениями по тракту.

В состав установок для измерения побочных излучений по полю, кроме измерительных приемников и измерителей напряженности поля, могут входить селективные микровольтметры, измерительные антенны, генераторы стандартных сигналов и различное вспомогательное оборудование.

Измерение побочных излучений по тракту является простым и наиболее распространенным, несмотря на расхождения между измеренной мощностью колебаний в фидерной линии и соответствующей мощностью побочных излучений (см. § 2.1).

Измерение проходящей в фидерном тракте мощности побочных излучений осуществляют методом замещения, путем измерения тока, напряжения и $\cos\varphi$ в фидере на частоте побочных излучений, путем измерения тока (напряжения) в узле и пучности фидера, а также методом измерения мощностей падающей и отраженной волн в фидере с помощью направленных ответвителей. Наибольшее распространение получил последний метод, который и рассматривается в этой главе. Кроме направленных ответвителей для измерения указанным методом применяют специальные измерительные приборы М2-22 и М2-23.

К измерениям по тракту относят измерения рассеиваемой мощности на частотах побочных излучений на эквиваленте антенны или нагрузочном сопротивлении (когда передающее устройство не имеет эквивалента антенны). В принципе этот метод определения побочных излучений отличается от измерений как по полю, так и по тракту.

2.4. ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ

Измерение уровней побочных излучений передающих устройств в отличие от электрорадиоизмерений общего характера, рассмотренных, например, в [11—13], имеет ряд особенностей. Эти особенности обусловлены широкой полосой частот, которую необходимо исследовать на наличие и значения уровней мощности побочных излучений, большим динамическим диапазоном мощностей, подлежащих измерению. Они требуют для проведения измерений экранированных измерительных установок, специальной измерительной аппаратуры и оборудования. Поэтому для того чтобы рассмотреть конкретные измерительные приборы, необходимо сформулировать общие требования к ним по основным параметрам.

Диапазон измеряемых частот. Измерительные приборы, используемые с целью контроля норм [10], должны обеспечивать измерения побочных излучений передающих устройств километровых и гектометровых волн в полосе частот 150 кГц. . .25 МГц, декаметровых волн в полосе частот 1,5 . . . 230 МГц и метровых волн (УКВ ЧМ, I, II и III телевизионных диапазонов) в полосе частот 30 . . . 2500 МГц. Измерения с целью исследования уровней мощности побочных излучений проводятся в более широкой полосе частот. Нижний предел частот при таких измерениях может ограничиваться значением $0{,}1 f_р$, а для РЭС — с волноводным трак-

том — $f_{кр}$ ($f_р$ — рабочая частота РЭС, а $f_{кр}$ — критическая частота волновода). Верхний предел может достигать значения $(10 \ldots 20) f_р$ и часто ограничивается аппаратурными возможностями. Вся полоса измеряемых частот перекрывается, как правило, несколькими измерительными приборами.

Пределы измерений по мощности. С учетом норм [10], которыми установлено абсолютное значение мощности побочных излучений для некоторых передающих устройств, не превышающее 25 мкВт, нижний предел измеряемых мощностей ограничивается единицами микроватт. Верхний предел с учетом измерения мощности основного излучения может достигать сотен киловатт и более. Он обеспечивается, как правило, включением аттенюаторов на входе измерительных приборов.

Измеритель мощности побочных колебаний в фидерной линии должен иметь диапазон измерений от 0,001 до 1 Вт.

Экранирование всей установки в рабочем состоянии при проведении измерений побочных излучений передающих устройств километровых, гектометровых и декаметровых волн должно быть не менее 40 дБ, а метровых волн — не менее 30 дБ.

Приемник измерительный (измеритель напряженности поля) должен иметь чувствительность при отношении сигнал/шум, равном единице, не менее 10 мкВ, экранирование в рабочем состоянии не менее 60 дБ, ослабление по зеркальному и другим каналам побочного приема не менее 60 дБ и избирательность к помехе, отстоящей от частоты приема на 100 кГц и более, не менее 70 дБ.

Фильтр измерительный должен иметь характеристическое сопротивление 75—20 Ом, затухание в полосе пропускания на частотах побочных излучений не более 6 дБ, на несущей частоте передатчиков километровых, гектаметровых и декаметровых волн — не менее 60 дБ, метровых волн — не менее 50 дБ.

Направленный ответвитель должен иметь коэффициент калибровки по мощности $10^6 \ldots 5 \cdot 10^{-4}$, направленность 20 . . . 30 дБ и номинальную мощность нагрузочного сопротивления вторичной линии 1 . . . 2 Вт.

2.5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИЕМНИКИ

Для измерения мощности побочных излучений применяется несколько групп измерительных приемников, аналогичных по конструкции и схемному решению, отличающихся по полосе измеряемых частот. Промышленностью выпускается серия измерительных приемников типа П5, которыми перекрывается полоса частот от 18 МГц (приемник П5-1) до 37,5 ГГц (приемник П5-15А).

Нормам [10] для измерения мощности побочных излучений по полю рекомендованы приемники П5-19 и П5-20, которые представляют собой высокочувствительные, высокостабильные супергетеродинные приемники с двойным преобразованием частоты и калиброванным внутренним усилением. Приемники могут применяться в лабораторных, производственных и полевых условиях. Основные

технические характеристики приемников приведены в табл. 2.1. Приемники могут использоваться также в качестве селективных микровольтметров для измерения побочных колебаний в фидерной линии. Приемники имеют одинаковые конструктивные и схемные решения.

Таблица 2.1

Характеристика	Значения характеристики для приемников	
	П5-19	П5-20
Диапазон частот, ГГц	0,255 . . .0,515	0,5 . . .1
Пределы измерения (при синусоидальном напряжении и отношении сигнал/шум, равном единице), мкВ	9 . . .10^5	9 . . .10^5
Ослабление каналов побочного приема, дБ	60	60
Относительная погрешность частотной шкалы, %	1	1
Погрешность измерения напряжения, мощности, дБ	±2,2	±2,2
Полоса пропускания, МГц:		
узкая	0,12	0,12
широкая	0,8	0,8
Вход приемника и входное сопротивление, Ом	Коаксиальный, 75	Коаксиальный, 75
Рабочие условия:		
температура, °С	— 10 . . . + 50	— 30 . . . + 50
относительная влажность, %, при 20° С	80	80
Напряжение питания, В, частотой:		
50 Гц	220	220
400 Гц	220, 115	220,115
Габаритные размеры, мм:		
приемника	480×260×360	480×260×360
блока питания	480×200×360	480×260×360
Масса, кг:		
приемника	27	27
блока питания	20	20

Измерительный приемник П5-19 состоит из блока высокой частоты, блока второй промежуточной частоты с выходными устройствами и блока питания. Структурная схема приемника приведена на рис. 2.2.

Блок высокой частоты приемника состоит из входного аттенюатора, фильтра $Ф_1$, аттенюатора на 3 дБ, ФНЧ, смесителя $См_1$, гетеродина $Г_1$ и калибровочного генератора $Г_3$.

При измерении напряженности поля побочных излучений измерительную антенну, а при измерении мощности побочных колебаний в фидерной линии направленный ответвитель подключают к гнезду *1* входного аттенюатора, который ослабляет большие сигналы до уровня, обеспечивающего линейный режим работы последующих каскадов приемника. Ослабление регулируют ступенями через 10 дБ в пределах 0 . . . 50 дБ.

Настройку приемника на частоту измеряемого сигнала производят ручкой *3* путем изменения частоты двухконтурного полосового фильтра $Ф_1$ и гетеродина $Г_1$. При этом частота гетеродина постоянно на 100 МГц больше частоты перестраиваемого полосового фильтра. О настройке приемника на частоту измеряе-

мого сигнала судят по наибольшей громкости динамического громкоговорителя *13*.

Полосовой фильтр и ФНЧ с частотой среза 1,8 ГГц (для приемника П5-20 ... 2,5 ГГц) ослабляют сигналы каналов побочного приема, расположенных ниже и выше частоты настройки приемника не менее чем на 60 дБ.

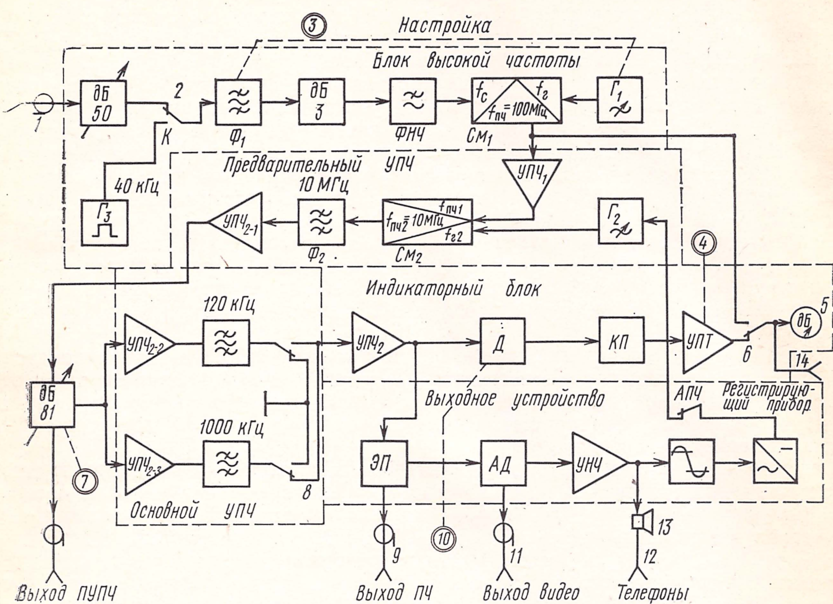


Рис. 2.2. Структурная схема измерительного приемника П5-19

Фиксированный аттенюатор на 3 дБ уменьшает влияние КСВ смесителя $См_1$ на КСВ входа приемника.

Первый преобразователь частоты ($См_1+Г_1$) преобразует частоту измеряемого сигнала в первую промежуточную частоту 100 МГц, напряжение которой подается в предварительный $УПЧ_1$.

Калибровочный генератор формирует импульсы фиксированной амплитуды положительной полярности длительностью 0,3 нс с частотой 40 кГц, по которым калибруется усиление приемника. Калибровку усиления проводят после настройки приемника на частоту измеряемого сигнала. Для этого переключатель *2* ставят в положение *К*, подключая тем самым на вход приемника калибровочный генератор $Г_3$, и, регулируя усиление основного $УПЧ_1$, устанавливают стрелку индикаторного прибора *5* на соответствующее данной частоте деление.

Блок второй промежуточной частоты с выходными устройствами состоит из предварительного $УПЧ_{2-1}$, аттендатора 0 ... 81 дБ, основного УПЧ и индикаторного блока.

Напряжение измеряемого сигнала с частотой 100 МГц усиливается, фильтруется предварительным $УПЧ_1$ и подается на вход смесителя $См_2$, на который подается также напряжение частоты 110 МГц с гетеродина $Г_2$. Нагрузкой $См_2$ служит двухконтурный полосовой фильтр $Ф_2$ со средней частотой настройки 10 МГц. Этот фильтр выделяет вторую промежуточную частоту, равную 10 МГц, и подает напряжение этой частоты на выходной каскад $УПЧ_{2-1}$, необходимый для согласования выхода полосового фильтра со входом аттенюатора 0 ... 81 дБ.

Аттенюатор 0 ... 81 дБ обеспечивает относительное ослабление напряжений, а также ослабление сильных сигналов до уровня, при котором каскады основ-

ного УПЧ и индикаторного блока работают в линейном режиме. Ослабление производят переключением переключателя *7* через *10* или 1 дБ в пределах 0...81 дБ.

Основной УПЧ предназначен для усиления измеряемого сигнала 10 МГц. Он имеет две полосы: узкую 120 кГц ($УПЧ_{2-2}$) с усилением 50 дБ и широкую ($УПЧ_{2-3}$) 1 МГц с усилением 57 дБ. Переключение полос производится переключателем *8*. При установке переключателя *8* в среднее положение ручкой *4* производится установка нуля стрелочного прибора *5*. С выхода основного УПЧ измеряемый сигнал подается в индикаторный блок.

Индикаторный блок состоит из двухкаскадного усилителя $УПЧ_2$, диодного детектора Д, катодного повторителя КП и усилителя постоянного тока УПТ. Кроме усиления, индикаторный блок обеспечивает различные виды детектирования измеряемого сигнала и индикацию результата измерения. При измерении среднего, среднеквадратичного, квазипикового и пикового значений сигнала путем переключения ручкой 10 *RC*-цепей устанавливается соответствующий род работы детектора.

В приемнике применена двухступенчатая схема пикового детектирования, второй ступенью которой служит катодный повторитель при установке ручки *10* в положение измерения пикового значения. При измерении среднеквадратичного значения сигнала катодный повторитель выполняет роль усилителя мощности.

Стрелочный прибор *5* включен между катодными нагрузками двухкаскадного УПТ. Параллельно ему через гнездо *14* может подключаться внешний регистрирующий прибор. В зависимости от положения переключателя *6* стрелочным прибором *5* измеряют ток кристалла $См_1$ при контроле работы приемника или уровень измеряемого сигнала.

Выходное устройство состоит из эмиттерного повторителя ЭП, амплитудного детектора АД, усилителя низкой частоты, усилителя-ограничителя и частотного дискриминатора. Оно обеспечивает выдачу измеряемого сигнала на внешние устройства: с ЭП выведен выход второй ПЧ *9*, с амплитудного детектора — выход видео *11*. Усилитель низкой частоты нагружен на динамический громкоговоритель *13*, параллельно ему выведены гнезда *12* для подключения головных телефонов. Усилитель-ограничитель и частотный дискриминатор входят в цепь АПЧ гетеродина $Г_2$. Блок питания обеспечивает схему приемника стабилизированными напряжениями +250, +150, +20 и 6,3 В (на схеме рис. 2.2 он не показан).

2.6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПАНОРАМНЫЕ ПРИЕМНИКИ

Для измерения частоты и уровня мощности побочных излучений, а также спектральных параметров излучений передающих устройств предназначена группа панорамных измерительных приемников П5-26, П5-27 и П5-28, которые обеспечивают проведение измерений в полосе частот 1...7 ГГц в лабораторных, производственных и полевых условиях.

Высокочувствительные высокостабильные супергетеродинные приемники с двойным преобразованием частоты и калиброванным усилением измеряемого сигнала имеют достаточное экранирование (60 дБ) и ослабление каналов побочного приема (60 дБ), что важно для измерения указанных параметров.

Приемники аналогичны по конструктивному и схемному решениям. Их основные технические характеристики приведены в табл. 2.2.

В комплект приемника П5-26 входят четыре блока: блок высокой частоты и блок его питания, индикаторный блок и блок его питания. Структурная схема приемника приведена на рис. 2.3 (без блоков питания).

Блок высокой частоты состоит из высокочастотного аттенюатора, направленного ответвителя НО, ФНЧ, $ПФ_1$, устройства перестройки приемника УПП, вен-

тиля, гетеродина $Г_1$, управляемого аттенюатора УА, смесителя $См_1$ релейной схемы, гетеродина $Г_2$, фильтра 125 МГц $ПФ_2$, усилителя $УПЧ_1$, смесителя $См_2$, выходного усилителя $УПЧ_{2-1}$, генератора $ПЧ_1$ $Г_3$ и аттенюатора.

Таблица 2.2

Характеристика	Значение характеристики для приемников		
	П5-26	П5-27	П5-28
Диапазон частот, МГц	1 . . .2	2 . . .4	4 . . .7
Пределы измерения, Вт (при непрерывном сигнале и отношении сигнал/шум, равном 1), при полосе:			
0,1 МГц	$3\cdot10^{-13}\ldots0,1$	$3\cdot10^{-13}\ldots0,1$	$3\cdot10^{-13}\ldots0,1$
1 МГц	$3\cdot10^{-12}\ldots0,1$	$3\cdot10^{-12}\ldots0,1$	$3\cdot10^{-12}\ldots0,1$
5 МГц	$1,5\cdot10^{-11}\ldots0,1$	$1,5\cdot10^{-11}\ldots0,1$	$1,5\cdot10^{-11}\ldots0,1$
импульсного сигнала (при средней мощности до 0,1 Вт)	10	10	10
Ослабление каналов побочного приема, дБ	60	60	60
Экранирование, дБ	60	60	60
Относительная погрешность частотной шкалы, %	1	1	1
Погрешность измерения, дБ	±3,5	±3,5	±3,5
Вход приемника и входное сопротивление, Ом	Коаксиальный, 50	Коаксиальный, 50	Коаксиальный, 50
Рабочие условия:			
температура, °С	— 30. . . + 50	— 30. . . + 50	— 30. . . + 50
относительная влажность, %, при —20° С	80	80	80
Напряжение питания, В	220	220	220
Потребляемая мощность, Вт	600	600	600
Масса, кг:			
приемника	38 28	36 28	34 28
блока питания	25 24	25 24	25 24

Измеряемый сигнал подключается ко входу *1* и через высокочастотный аттенюатор, имеющий ступенчатое ослабление 0, 20, 40 и 60 дБ, подается на вход приемника ослабленным до значения 10^{-5} Вт. Такая мощность обеспечивает линейность работы входного тракта приемника. Настройку в полосе частот приемника на измеряемый сигнал производят устройством перестройки, которое перестраивает одновременно полосовой фильтр $ПФ_1$ и гетеродин $Г_1$. При этом частота гетеродина постоянно больше средней частоты перестраиваемого ПФ на 125 МГц. Режим перестройки устанавливают переключателем *2*, имеющим пять положений. Возможны следующие режимы настройки приемника:

«Автомат» — автоматическая перестройка частоты приемника из любого положения до нижней (влево) или верхней (вправо) границы диапазона частот;

«Ручная» — частота приемника, перестраиваемого вручную ручкой *3* «Настройка». Отсчет частоты производится по шкале прибора;

«Свипирование» — непрерывная периодическая перестройка приемника во всем диапазоне.

Точная подстройка приемника на частоту измеряемого сигнала производится ручкой *4* «Подстройка».

После настройки приемника измеряемый сигнал проходит через направленный ответвитель НО, который служит для подключения ко входу приемника

калибровочного шумового генератора, и поступает в ФНЧ, где ослабляются все частоты, выходящие за верхнюю границу диапазона приемника. В перестраиваемом двухконтурном $ПФ_1$ происходит ослабление частот, расположенных вне полосы пропускания фильтра. Частота измеряемого сигнала ослабляется незначительно и подается через развязывающий ферритовый вентиль на смеситель $См_1$.

Преобразователь частоты, состоящий из гетеродина $Г_1$, управляемого аттенюатора и смесителя $См_1$, преобразует частоту принимаемого сигнала в первую

Рис. 2.3. Структурная схема панорамного измерительного приемника П5-26

ПЧ, равную 125 МГц. Гетеродин $Г_1$ имеет два фиксированных съемника мощности. С одного выведен выход *5* на переднюю панель приемника. Он предназначен для точного измерения частоты гетеродина $Г_1$ внешним измерительным прибором. С другого выхода частота $Г_1$ через управляемый аттенюатор УА подается на $См_1$. Управляемый аттенюатор и релейная схема входят в следящую систему и обеспечивают стабилизацию режима работы смесителя $См_1$ путем поддержания на его входе постоянной мощности колебаний гетеродина $Г_1$ при перестройке приемника во всем диапазоне частот.

Измеряемый сигнал выделяется полосовым фильтром 125 МГц $ПФ_2$ и через усилитель $УПЧ_1$ поступает во второй преобразователь, состоящий из гетеродина $Г_2$, смесителя $См_2$ и выходного усилителя $УПЧ_{2-1}$. Второй преобразователь преобразует первую ПЧ, равную 125 МГц, во вторую, равную 30 МГц. С $УПЧ_{2-1}$ измеряемый сигнал поступает в индикаторный блок.

Индикаторный блок состоит из аттенюатора промежуточной частоты на 70 дБ, формирователя полосы, основного УПЧ ($УПЧ_{2-2}$, $УПЧ_{2-4}$), дискриминатора, выходного устройства, состоящего из детектора и усилителя, дифференцирующего устройства, блока управления, устройства стирания, УНЧ и ЭЛТ.

Измеряемый сигнал с частотой 30 МГц подается в индикаторный блок через аттенюатор ПЧ, с помощью которого регулируется ослабление сигнала ступенями через 1 дБ в пределах 0...70 дБ, и формирователь полосы, обеспечивающий формирование трех полос пропускания: 100 кГц, 1 и 5 МГц. Формирователь обеспечивает также усиление измеряемого сигнала в пределах 0...20 дБ. Усиление регулируется ручкой «Усиление». Кроме того, формирователь имеет выход *7* для подключения внешнего анализатора спектра.

После формирования полосы частот измеряемого сигнала происходит его усиление основным УПЧ, с выхода которого измеряемый сигнал подается на дискриминатор Д и выходное устройство ВУ. Частотный дискриминатор стабилизирует частоту гетеродина $Г_2$. Выходное устройство, состоящее из усилителя $УПЧ_{2-4}$, детектора Д и видеоусилителя ВУ, усиливает измеряемый сигнал, обеспечивает его внешний выход ПЧ *8*, преобразует и, после усиления видеоусилителем, подает его на отклоняющие пластины ЭЛТ. С видеоусилителя имеется внешний выход *9* «Видео».

В приемнике, в зависимости от измеряемого сигнала, переключателем *10* включается один из трех детекторов: линейный, логарифмический или квадратичный. Каждый из них имеет три постоянных времени детектирования. Измерение пикового напряжения импульсов производят при установке переключателя *10* в положение «Лин — Пик» и «Лог — Пик».

Дифференцирующее устройство обеспечивает подсвет осциллограммы при быстром движении луча по экрану ЭЛТ. Цепи для фиксации сигнала на экране ЭЛТ находятся в блоке управления, устройстве стирания и усилителе низкой частоты.

В блоке управления формируется развертывающее напряжение, которое через УНЧ подается на горизонтальные отклоняющие пластины ЭЛТ. Вместе с блоком стирания этот блок обеспечивает стирание записанного сигнала кнопкой *11* «Стирание» или запись нового сигнала при нажатой кнопке *12* «Пуск». Генератор развертки блока управления переключателем *13* устанавливают в один из трех режимов: «Времен.», «Периодич. память» и «Одиночная».

В положении «Времен.» производится разовая развертка луча ЭЛТ. Скорость развертки регулируют в пределах 3...20 с ручкой *14*. В положении «Периодич. память» развертка луча синхронизируется с изменением частоты гетеродина $Г_1$. Положение «Одиночная» в приемнике П5-26 не используется.

В приемнике применена ЭЛТ типа 13ЛН2 с памятью. Питание трубки осуществляется от специального блока питания, находящегося в индикаторном блоке.

Усиление приемника калибруется по внутреннему калибровочному генератору $Г_ш$, который подключается на время калибровки переключателем *16* к направленному ответвителю НО.

Прибором *15* контролируют работу калибровочного шумового генератора, смесителей $См_1$ и $См_2$ и управляемого аттенюатора.

Генератор $Г_3$ ПЧ 125 МГц используют для точной частотной калибровки и как генератор для калибровки усиления приемника. Режим работы устанавливают переключателем *17* «Выкл — Кварц», а уровень входного сигнала генератора $Г_3$ регулируют ручкой *18*, связанной с аттенюатором.

2.7. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Для измерения мощности амплитудно- и импульсно-модулированных колебаний в фидерной линии, а также напряженности поля основного и побочных излучений передающих устройств могут применяться другие измерительные приемники, принцип работы которых аналогичен рассмотренным в § 2.5 и 2.6. Основные технические данные приемников приведены в табл. 2.3.

Как следует из табл. 2.3, почти все измерительные приемники не отвечают

Таблица 2.3

Тип приемника	Диапазон частот, ГГц	Пределы измерения, Вт	Погрешность, дБ	Ослабление КПП, дБ	Экранирование, дБ
П5-4Б	1,28...2,35	$10^{-12}...10^{-4}$	±2	25	50
П5-5Б	2,35...4	$10^{-12}...10^{-4}$	±2	25	50
П5-7Б	4...7,4	$10^{-12}...10^{-4}$	±2	23	50
П5-13	12...16,7	$10^{-13}...10^{-6}$	±2	—	20
П5-14А	16,7...25,8	$5 \cdot 10^{-10}...10^{-6}$	±2	—	20
П5-15А	25,8...37,5	$5 \cdot 10^{-10}...10^{-6}$	±2	—	20

требованиям, изложенным в § 2.4 по ослаблению каналов побочного приема и экранированию. Поэтому при их использовании необходимо принимать дополнительные меры по ослаблению каналов побочного приема и экранированию до 60 дБ. В первом случае на вход приемника включаются дополнительные фильтры, а во втором — измерение проводят в экранированной камере.

Следует остановиться на приемниках П5-4Б, П5-5Б и П5-7Б, имеющих аналогичные схемы и одинаковые конструктивные решения.

Особенностью супергетеродинной схемы приемника П5-7Б (рис. 2.4) с двойным преобразованием частоты измеряемого сигнала являются две различные схемы измерения мощности. При измерении мощности в пределах $10^{-10} \dots 10^{-4}$ Вт используется квадратичное детектирование, а при измерении малых мощностей в пределах $10^{-12} \dots 10^{-10}$ Вт — модуляционная схема, обеспечивающая измерение в полосе приемника мощности сигналов, меньшей мощности его шумов. Мощность выходного сигнала отсчитывается в микроваттах.

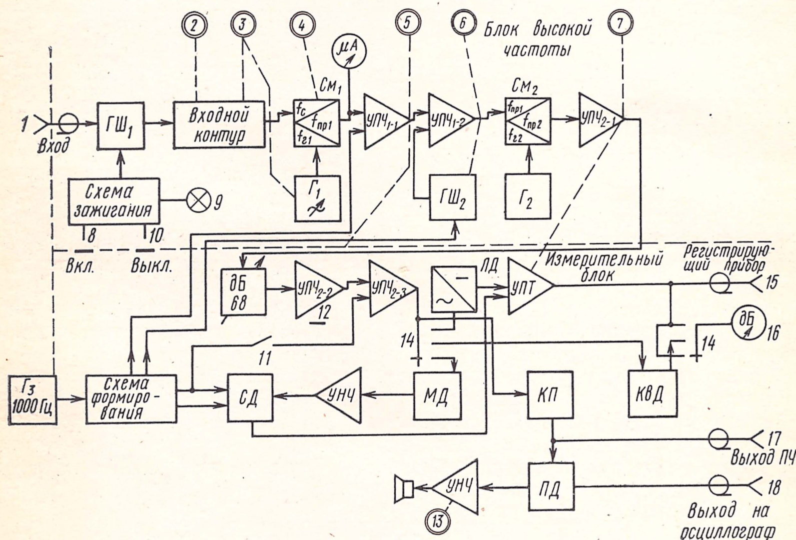


Рис. 2.4. Структурная схема измерительного приемника П5-7Б

Комплект приемника состоит из измерительного блока и блока питания. Измерительный блок состоит из блока высокой частоты и измерительного блока.

В блок высокой частоты входят: калибровочный генератор шума $ГШ_1$ со схемой зажигания; первый преобразователь частоты, состоящий из входного контура, кристаллического смесителя $См_1$ и гетеродина на клистронном генераторе $Г_1$; предварительный усилитель промежуточной частоты ($УПЧ_{1-1}$ и $УПЧ_{1-2}$); генератор шума $ГШ_2$; второй преобразователь частоты $См_2+Г_2$ и выходной усилитель $УПЧ_{2-1}$.

Калибровочный шумовой генератор предназначен для калибровки усиления приемника. Он выполнен на газоразрядной трубке ГШ-5, включаемой последовательно в тракт измеряемого сигнала между входом приемника *1* и преселектором (входным контуром). При нажатии кнопки *8* зажигается газоразрядная лампа, о чем свидетельствует загорание лампочки *9* на передней панели приемника. Генератор шума выдает шумовой калибровочный сигнал мощностью около 10^{-12} Вт при полосе пропускания приемника, равной 5 МГц. Калибровку усиления приемника производят ручкой *5* «Усиление» основного УПЧ путем установки стрелки выходного прибора *16* на риску шкалы в соответствии с графиком по частоте, определяемой по шкале «Настройка». После проведения калибровки схему зажигания выключают кнопкой *10*.

Измеряемый сигнал подводят к гнезду *1* «Вход» и через волновод калибровочного $ГШ_1$ — на первый преобразователь частоты. Первый преобразователь переносит частоту измеряемого сигнала в область первой ПЧ, равной 200 МГц. Напряжение этой частоты усиливается в двухкаскадном широкополосном $УПЧ_{1-1}$ и $УПЧ_{1-2}$ и подается на второй преобразователь.

Во втором преобразователе измеряемый сигнал с частотой 200 МГц преобразуется во вторую промежуточную частоту, равную 30 МГц, которая через выходной усилитель $УПЧ_{2-1}$ поступает в измерительный блок.

Измерительный блок состоит из аттенюатора 0...68 дБ, основного $УПЧ_{2-2}$, выходного усилителя $УПЧ_{2-3}$, линейного ЛД, квадратичного КвД и пикового ПД детекторов и схемы модуляционного измерения мощности, состоящей из опорного генератора 1000 Гц $Г_3$, схемы формирования, синхродетектора СД и УНЧ.

С помощью аттенюатора регулируют ослабление измеряемого сигнала от 0 до 68 дБ через 2 дБ. Четырехкаскадный $УПЧ_{2-2}$ с полосой пропускания $6{,}5 \pm \pm 0{,}5$ МГц обеспечивает основное усиление сигнала и его регулировку ручкой *5* в пределах 10...15 дБ. Линейность амплитудной характеристики основного $УПЧ_{2-2}$ 30 МГц обеспечивает выходной усилитель $УПЧ_{2-3}$.

С линейного усилителя измеряемый сигнал через переключатель рода работы *14* приемника поступает на линейный, квадратичный или модуляционный вольтметр.

Линейным вольтметром, включающим в себя линейный детектор ЛД и УПТ, измеряют пиковое значение модулированных сигналов и квазипиковое значение помех. Балансировку моста УПТ производят нажатием кнопки *12*, которая запирает основной $УПЧ_{2-2}$, и ручкой установки нуля *7* устанавливают стрелку прибора *16* на нуль.

Квадратичным вольтметром КвД измеряют мощность слабых сигналов. Соответствие между линейной и квадратичной шкалами индикаторного прибора *16* устанавливают подачей необходимого смещения на ЛД.

Модуляционным вольтметром измеряют мощность очень слабых сигналов. Работа модуляционной схемы приемника сводится к следующему. Ручку рода работы *14* ставят в положение модуляционного приема.

С помощью опорного генератора $Г_3$ и схемы формирования через $УПЧ_{1-2}$ к смесителю $См_2$ периодически с частотой 1000 Гц подключается генератор шума. В положительный полупериод к $См_2$ подается суммарная мощность измеряемого сигнала и собственных шумов приемника. Отрицательный полупериод запирает $УПЧ_{2-1}$, а на смеситель $См_2$ подается только мощность генератора шума. Перед измерениями, в отсутствие измеряемого сигнала, ручкой *6* производят балансировку прибора, т. е. устанавливают равными мощность собственных шумов приемника, которая определяется в основном первым преобразователем, и мощность шумового генератора. Это равенство соответствует нулевому показанию прибора *16*. Подача на вход *1* измеряемого сигнала и периодическое подключение к $См_2$ генератора $Г_3$ приведут к модуляции сигнала частотой 1000 Гц. Промодулированный измеряемый сигнал пройдет последующие каскады приемника, поступит на модуляционный детектор МД и через узкополосный УНЧ, настроенный на частоту 1000 Гц, — на синхронный детектор СД, на второй вход которого подается управляющий сигнал частоты 1000 Гц из схемы формирования. Синхронный детектор СД собран по ключевой схеме. На его выходе устанавливается постоянный ток, равный разности между током, определяемым суммарной мощностью измеряемого сигнала, и собственными шумами прибора и током, определяемым только мощностью генератора шума. С выхода СД сигнал подается через узкополосный УПТ на измерительный прибор *16*.

Модуляционный прием обеспечивает измерение в полосе приемника мощности сигналов, которая меньше мощности его шумов.

Выходное устройство приемника состоит из катодного повторителя КП, пикового детектора ПД, усилителя низкой частоты и динамического громкоговорителя. Оно имеет выход второй ПЧ, равной 30 МГц, *17* и гнездо *18* — выход на осциллограф.

Блок питания обеспечивает стабилизированное напряжение +(170...230), +150, +250, +750 и —15 В постоянного и 6,3 В переменного токов.

2.8. НАПРАВЛЕННЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ

Из теории антенно-фидерных устройств известно, что при неполном согласовании передатчика с антенной в фидерном тракте распространяется от передатчика к антенне падающая волна с амплитудой $U_{\text{пад}}$, а от антенны к передатчику — отраженная волна с амплитудой $U_{\text{отр}}$. Поступающую в антенну мощность определяют по разности мощностей падающей и отраженной волн и называют ее проходящей мощностью. Это положение справедливо для волны как основного, так и побочных колебаний.

Проходящую мощность в фидерном тракте измеряют с помощью направленных ответвителей, которые представляют собой (рис. 2.5—2.7) систему двух связанных по определенному закону линий. В главной линии распространяется вся проходящая от передатчика к антенне мощность. Во вспомогательной (или вторичной) линии отбирается небольшая часть проходящей мощности для определения по ее величине проходящей мощности в главной линии.

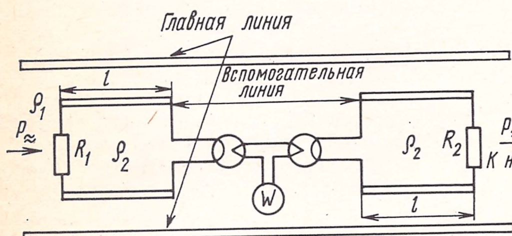


Рис. 2.5. Схематическое изображение двухпроводного направленного ответвителя

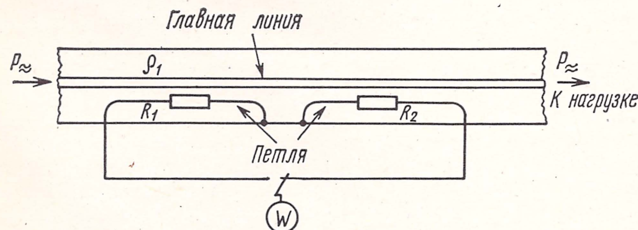


Рис. 2.6. Схематическое изображение коаксиального направленного ответвителя

В зависимости от конструкции фидерного тракта направленные ответвители подразделяют на двухпроводные, коаксиальные или волноводные. Связь между главной и вспомогательной линиями в двухпроводном ответвителе (см. рис. 2.5) устанавливается с помощью индуктивного и емкостного сопротивлений на общем участке линий l. В коаксиальном ответвителе (см. рис. 2.6) связь между линия-

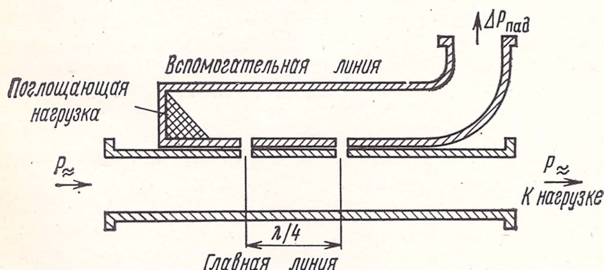


Рис. 2.7. Схематическое изображение волноводного направленного ответвителя

ми осуществляется по магнитному (применяют петлю) или по электрическому полю (применяют зонд). В волноводном ответвителе (см. рис. 2.7) преобладает емкостная связь благодаря наличию общих щелей или зондов (см. рис. 2.14).

Представленные на рис. 2.5—2.7 системы связанных линий являются направленными отборниками мощности при условии, что входы и выходы главной и вспомогательной линий согласованы между собой и в то же время обеспечивается развязка между входом и выходом главной и вспомогательной линий. Соблюдение этих условий достигается или подбором нагрузок при заданных размерах связанных линий или подбором волновых сопротивлений при заданных нагрузках. Обычно используют второй метод расчета направленных ответвителей, т. е. находят сначала длину участка связи l (см. рис. 2.5), а затем по заданному переходному ослаблению рассчитывают волновое сопротивление вспомогательной линии. Система будет направленной при $\rho=R_1$ или $\rho=R_1=R_2$.

Основными характеристиками направленного ответвителя являются коэффициент направленности N и переходное ослабление C.

Коэффициент направленности есть выраженное в децибелах отношение величины напряжения $\Delta U_{пад}$ (мощности $\Delta P_{пад}$), снимаемого с ответвителя при его ориентации на падающую волну, к напряжению $\Delta U_{отр}$ (мощности $\Delta P_{отр}$), снимаемому с ответвителя при его ориентации на отраженную волну, при отсутствии отраженной волны в главной линии:

$$N = 20\lg(\Delta U_{пад}/\Delta U_{отр}), \quad N = 10\lg(\Delta P_{пад}/\Delta P_{отр}). \qquad (2.6)$$

Направленность определяется точностью выполнения конструкции ответвителя, соответствием сопротивления нагрузки волновому сопротивлению ответвителя и, в зависимости от частоты, в реальных ответвителях составляет 26...30 дБ, что обеспечивает погрешность измерений по напряжению за счет введения ответвителя не более 2%.

Переходное ослабление есть выраженное в децибелах отношение напряжения (мощности) падающей волны в главной линии к напряжению $\Delta U_{пад}$ (мощности $\Delta P_{пад}$) во вспомогательной линии:

$$C = 20\lg(U_{пад}/\Delta U_{пад}), \quad C = 10\lg(P_{пад}/\Delta P_{пад}). \qquad (2.7)$$

Таким образом, коэффициент ослабления выражает количественную связь между мощностями в главной и вспомогательной линиях. Обратными величинами коэффициента ослабления являются коэффициенты передачи по напряжению S_U или по мощности S_P, которые можно определить через коэффициент связи K между главной и вспомогательной линиями по формулам

$$S_U = K(2\pi/\lambda)\,l, \quad S_P = S_U^2 = [K(2\pi/\lambda)\,l]^2, \qquad (2.8)$$

где λ — длина волны, м; l — длина вспомогательной линии (рис. 2.9) мм.

Метод определения коэффициента связи K описан в § 2.10.

Кроме того, стабильность работы направленного ответвителя зависит от номинальной мощности $P_н$, сопротивлений нагрузки R_1 и R_2 (см. рис. 2.5, 2.6). Мощность $P_н$ выбирается с учетом мощности, проходящей в главной линии $P_{пр}$, и коэффициента передачи направленного ответвителя

$$P_н = P_{пр}\,S_P \qquad (2.9)$$

при работе его на верхней частоте. Обычно величина $P_н$ составляет сотые или тысячные доли ватта, поэтому номинальную мощность сопротивлений R_1 и R_2 рекомендуют [10] выбирать равной 1...2 Вт, что считается достаточным для рассеивания измеряемой ответвленной мощности и не ведет к заметному увеличению погрешности измерений.

2.9. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ (ПЛОТНОСТИ ПОТОКА МОЩНОСТИ) ПОБОЧНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Структурная схема измерительной установки. Установка для измерения напряженности поля (плотности потока мощности) побочных излучений включает в себя набор измерительных приборов, с помощью которых можно обнаружить частоты побочных излучений, произвести калибровку высокочастотного тракта измерения и измерить напряженность поля. Измерительная

установка (рис. 2.8) состоит из измерительной антенны, аттенюаторов, перестраиваемого фильтра, высокочастотного генератора сигналов и измерительного приемника. Набор измерительных приборов должен перекрывать требуемую (см. § 2.4) полосу частот. Измерительная установка составляется с помощью соединительных линий, переходов и переключателей, соответствующих измеряемой полосе частот и применяемым измерительным приборам.

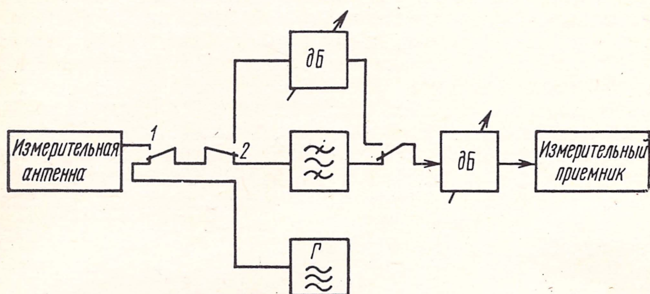


Рис. 2.8. Структурная схема измерительной установки для проведения измерений побочных излучений по полю

В установке используется измерительная антенна с калиброванным усилением серии П6. Основные технические характеристики измерительных антенн рассмотрены в гл. 3.

Установка имеет два аттенюатора с регулируемым затуханием. Один служит для расширения пределов измерения приемника. Другой применяют в тех случаях, когда измерительный приемник не имеет входного аттенюатора с плавно регулируемым затуханием.

В измерительной установке в зависимости от полосы измеряемых частот побочных излучений используют различные аттенюаторы. Аттенюаторы серии Д2 (плавные и ступенчатые резисторные) предназначены для калиброванного ослабления напряжения (мощности) сигналов в коаксиальных линиях в полосе частот до 5 ГГц. В более высокой полосе частот до 10 ГГц для этих же линий используют предельные плавные аттенюаторы серии Д4. Поляризационные аттенюаторы этой же серии применяют для ослабления сигналов в волноводных линиях в полосе частот до 78,9 ГГц.

Перестраиваемый фильтр служит для снижения уровня основного излучения передающего устройства и уменьшения тем самым его влияния на результат измерения напряженности поля побочных излучений.

Высокочастотный генератор сигналов необходим как источник квазигармонических сигналов с регулируемыми и контролируемыми амплитудой, частотой и формой. В измерительной установке применяют генераторы серии Г4 при проведении измерения методом замещения.

В состав установки входит приемник измерительной серии П5 (см. § 2.5—2.7). В качестве измерительных можно применять в диапазонах кило-, гекта-, декаметровых волн связные приемники с

индикатором (например, Р-250М) или селективные микровольтметры типа В6-7 в полосе частот 15 кГц . . . 30 МГц, типа В6-8 в полосе 30 . . . 300 МГц, а также измерители радиопомех и напряженности поля типов FSM6.A3 и FSM8 в полосе частот 100 кГц . . . . . 1000 МГц.

Высокочастотный переход *1* служит для подключения измерительной антенны к высокочастотному переключателю. Переходы серий Э1 и Э2 имеют КСВ, равный 1,5 . . . 1,25 в полосе частот 500 МГц . . . 10 ГГц.

Высокочастотные переключатели (1,2) необходимы для подключения измерительного приемника к антенне, фильтру или генератору сигналов. Можно использовать переключатель серии Э3 в полосе частот до 39,5 ГГц. Он имеет КСВ, равный 1,06 . . . 2, сопротивление высокочастотного тракта 50 Ом или волновод с сечением, соответствующим входу измерительного приемника. В полосе частот до 3 ГГц можно использовать коаксиальный переключатель ПРК-1-2-75Р, имеющий КСВ, равный 1, 2 и входное сопротивление 75 Ом.

Выбор места для проведения измерения. Установку для измерения напряженности поля побочных излучений следует размещать на открытой площадке, с минимумом посторонних предметов, которые могут быть источниками переизлучения. Необходимо, чтобы выбранная площадка находилась в максимуме главного лепестка излучения измеряемого передающего устройства в дальней от этого передатчика зоне излучения.

Дальней волновой зоной излучения передающего устройства считают область, расположенную на определенном минимальном расстоянии R между передающей и измерительной антеннами. Это расстояние определяется по геометрическим размерам антенн и длине волны, на которой проводится измерение. Для остронаправленных антенн

$$R \geqslant 2D^2/\lambda, \qquad (2.10)$$

где D — максимальный размер апертуры наибольшей передающей или измерительной антенны, м; λ — наименьшая длина волны измеряемого побочного излучения, м. Для слабонаправленных антенн дальнюю зону определяют по формуле

$$R \geqslant 3\lambda. \qquad (2.11)$$

В нормах [10] при измерении побочных излучений передающих устройств диапазона декаметровых волн рекомендуется измерительную установку размещать на расстоянии 3 . . . 10 км от передающей антенны, что значительно больше R, определяемого (2.11). Для нахождения максимума главного излучения рекомендуется также проводить измерения в 5 . . . 10 точках, равномерно расположенных по дуге длиной 3 . . . 5 км.

Такие жесткие условия проведения измерения напряженности поля (плотности потока мощности) необходимо соблюдать, чтобы уменьшить погрешность измерения. Эти условия не всегда удается

выполнить при измерении побочных излучений передающих стационарных антенн.

Обнаружение частот побочных излучений. Как указывалось в § 2.1, номиналы частот излучений на гармониках в субгармониках можно определить расчетным путем. Остальные виды побочных излучений определяют экспериментально, используя измерительную установку (см. рис. 2.8), составленную из измерительной антенны, перестраиваемого фильтра и измерительного приемника. Порядок обнаружения номиналов частот побочных излучений следующий. Измерительную антенну ориентируют по максимуму мощности принимаемого измерительным приемником основного излучения передающего устройства, которое должно во время измерений работать в установленном для него режиме с наибольшей допустимой мощностью излучения. Измерительный приемник перестраивают во всей контролируемой полосе частот (см. § 2.4) и фиксируют номиналы частот побочных излучений, определяя их принадлежность к измеряемому передатчику следующим методом.

Измеряемый передатчик включается по определенной программе. Например, в течение двух минут ведется передача, одну минуту — передатчик выключен. Измерительную установку рис. 2.8 дополняют приемником, который настраивают на частоту основного излучения. Зная программу включения передатчика и непосредственно принимая его основное излучение, сопоставляют выходные сигналы с обоих приемников и при совпадении времени работы в них фиксируют номинал частоты данного побочного излучения. Для исключения приема излучения передающего устройства по побочным каналам измерительного приемника на его вход включают полосовой фильтр, который настраивают на частоту обнаруженного побочного излучения. Если при этом показание индикаторного прибора приемника уменьшится не более чем на величину затухания полосового фильтра в полосе пропускания, то это служит подтверждением, что данное побочное излучение принимается по основному каналу измерительного приемника.

Экранирование измерительной установки. Как указывалось в § 2.5—2.7, измерительные приемники имеют экранирование, равное 50 . . . 60 дБ, которое обеспечивает измерение напряженности поля побочных излучений с точностью 3 . . . 5 дБ в полосе частот до 1000 МГц. На более высоких частотах экранирование измерительной установки снижается из-за применения неэкранированных элементов схемы. В этом случае измерительную установку размещают в измерительной камере, а достаточность экранирования определяют экспериментальным путем.

Для этого (см. рис. 2.8) отключают измерительную антенну, а вместо нее подключают экранированное сопротивление, соответствующее входному сопротивлению приемника. В измеряемом передатчике устанавливают штатный режим и номинальную мощность. Настраивают измерительный приемник на частоту побочного излучения с наибольшей напряженностью поля (плотностью потока мощности) и устанавливают на этой частоте наибольшую чувстви-

тельность измерительного приемника. Измеряют напряженность поля E и рассчитывают достаточность экранирования $Э$ измерительной установки по высокочастотному тракту по формуле

$$Э = 20 \lg (ER^2/E_{ниж} S_{эфф}) - Э_{пр}, \quad (2.12)$$

где R — расстояние между передающей и измерительной антеннами, м; $E_{ниж}$ — нижний предел измерения напряженности поля; при контроле норм [10] за $E_{ниж}$ принимается величина норм, мВ/м; $S_{эфф}$ — эффективная площадь измерительной антенны на частоте измеряемого побочного излучения, м²; $Э_{пр}$ — величина экранирования применяемого измерительного приемника, дБ.

Экранирование измерительной установки будет достаточным, если полученный по (2.12) результат отрицательный.

При измерении плотности потока мощности (спектральной плотности потока мощности) формула (2.12) принимает вид

$$Э = 10 \lg (PR^2/P_{ниж} S_{эфф}) - Э_{пр}, \quad (2.13)$$

где P — наибольшая измеренная плотность потока мощности, мВ/м²; $P_{ниж}$ — нижний предел планируемого измерения, мВ/м².

Эффективная площадь антенны $S_{эфф}$ связана с известным коэффициентом усиления G и действующей длиной $h_д$ зависимостями

$$S_{эфф} = G \lambda^2/4\pi; \quad S_{эфф} = 30 \pi h_д^2/R_А, \quad (2.14); \; (2.15)$$

где λ — длина волны, м; $R_А$ — входное сопротивление антенны, Ом.

Измерение напряженности поля побочных излучений. Установка рис. 2.8 позволяет проводить прямое измерение напряженности поля побочных излучений или косвенное — методом замещения. Прямые измерения занимают меньше времени, но результаты имеют значительные погрешности, из которых 2,5 ... ... 3 дБ приходится на измерительные приемники. Если в измерительной установке применяются связные приемники или селективные микровольтметры, то для уменьшения погрешности измерения следует проводить методом замещения.

Для проведения прямого измерения напряженности поля побочных излучений в измерительной установке рис. 2.8 используют генератор сигналов, измерительную антенну, аттенюатор, измерительный приемник и соответствующие переключатели и соединительные линии. При измерении на каждой выявленной частоте побочного излучения калибруют высокочастотный тракт и измерительный приемник. Высокочастотный тракт калибруют по генератору сигналов. Для этого настраивают измерительный приемник на частоту побочного излучения, а на вход высокочастотного тракта включают генератор сигналов, настроенный на измеряемую частоту побочного излучения. Выходное напряжение генератора сигналов регулируют так, чтобы стрелка индикаторного прибора измерительного приемника находилась в середине шкалы. Фиксируют показание этого прибора.

Не изменяя регулировок измерительного приемника и генератора сигналов, вместо измерительного тракта, состоящего из переключателей, перестраиваемого фильтра и соединительной линии,

на вход приемника включают регулируемый аттенюатор. Ослабление аттенюатора регулируют так, чтобы индикаторный прибор измерительного приемника показал зафиксированное ранее затухание измерительного тракта, а коэффициент передачи K рассчитывают по формуле

$$K = 10^{-c_{\text{атт}}/10}, \qquad (2.16)$$

где $c_{\text{атт}}$ — ослабление аттенюатора, дБ.

После этого измерительную установку рис. 2.8 составляют из измерительной антенны, перестраиваемого фильтра, аттенюатора (при необходимости) и измерительного приемника. Перестраиваемый фильтр настраивают на частоту основного излучения передающего устройства, которое включают на передачу в штатном режиме при номинальной мощности на все время проведения измерения. По показанию индикаторного прибора определяют напряженность поля побочных излучений, как рекомендуется в техническом описании к прибору. Искомое значение напряженности поля определяют с учетом затухания измеряемого сигнала в измерительном тракте, рассчитанного по (2.16):

$$E_{\text{п.и}} = K E_{\text{и.п}}, \qquad (2.17)$$

где $E_{\text{п.и}}$ — напряженность поля, мкВ/м; $E_{\text{и.п}}$ — измеренная прибором напряженность поля, мкВ/м;

Таким методом измеряют напряженность поля побочных излучений на частотах, значительно отстоящих от частоты основного излучения. При измерении интермодуляционных, комбинационных и паразитных побочных излучений, частоты которых лежат в интервале 10...15% от частоты основного излучения, на результат измерения будет оказывать влияние затухание полосового фильтра, настроенного на частоту основного излучения. Для уменьшения погрешности в этих случаях измерение проводят методом замещения.

Измерения методом замещения проводят с помощью установки рис. 2.8 в такой последовательности.

Настраивают на частоту измеряемого побочного излучения измерительный приемник и генератор сигналов. По максимальному показанию индикаторного прибора приемника добиваются точной его настройки на частоту побочного излучения. При зашкаливании стрелки прибора увеличивают затухание аттенюатора и повторно подстраивают приемник по максимальному показанию прибора. Затем затухание аттенюатора регулируют так, чтобы показание индикаторного прибора было примерно в 2 раза больше собственных шумов приемника. Переключателем *1* подключают на вход измерительной установки генератор сигналов и регулируют величину его выходного сигнала с таким расчетом, чтобы показание индикаторного прибора приемника было равно ранее измеренному побочному излучению. Тогда напряженность поля

$$E_{\text{п.и}} = 2 U_{\text{г}} / S_{\text{эфф}} K, \qquad (2.18)$$

где $U_{\text{г}}$ — напряжение генератора сигналов, отсчитанное по шкале выходного уровня, мкВ;

Аналогичным методом измеряют плотность потока (спектральную плотность потока) мощности побочных излучений. Как известно, в этом случае соединительными линиями измерительной установки рис. 2.8 являются волноводы.

При измерении плотности потока мощности полосу пропускания УПЧ измерительного приемника устанавливают равной 1 МГц, а при измерении спектральной плотности потока мощности — равной 0,1 МГц. Изменяя направление приема измерительной антенны, добиваются максимального показания индикаторного прибора приемника. Затем с помощью аттенюатора регулируют затухание сигнала, чтобы показание прибора приходилось на середину шкалы. Фиксируют показание прибора и, не меняя настройки приемника и аттенюатора, подключают ко входу измерительной установки генератор сигналов. Выходную мощность его регулируют так, чтобы индикаторный прибор измерительного приемника показал ранее измеренную плотность потока мощности побочного излучения, а ее значение рассчитывают по формуле

$$П_{п.и} = P_г / S_{эфф} K_{вол}, \qquad (2.19)$$

где $П_{п.и}$ — плотность потока мощности измеренного побочного излучения, Вт/м^2; $P_г$ — мощность ВЧ генератора сигналов, равная мощности побочного излучения на выходе побочного излучения, Вт; $K_{вол}$ — коэффициент передачи волновода по мощности.

Спектральную плотность потока мощности побочного излучения рассчитывают по формуле

$$S = P_г / S_{эфф} K_{вол} \Delta f, \qquad (2.20)$$

где Δf — полоса пропусканияУПЧ приемника, кГц.

Напряженность поля, плотность потока мощности, спектральную плотность потока мощности основного излучения измеряют описанными методами. На вход измерительного приемника включают переменный аттенюатор, с помощью которого регулируют затухание измеряемого сигнала.

Относительный уровень мощности побочного излучения определяют по формулам (2.1) и (2.2).

2.10. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОБОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ФИДЕРНОМ ТРАКТЕ

Одноволновый метод. Рассмотренные в предыдущем параграфе методы определения мощности побочных излучений по полю сложны и трудоемки. Поэтому, если возможно, мощность побочных излучений определяют по мощности соответствующих колебаний в фидерном тракте.

Для измерения мощности побочных колебаний в фидерной линии передающего устройства в полосе частот до 1900 МГц применяют одноволновый метод [10] с помощью направленных ответвителей. Основной особенностью при этом является измерение небольшого по мощности побочного колебания при наличии сильного полезного сигнала. В этих условиях необходимо иметь уверенность

в том, что нагрузочное сопротивление во вторичной линии направленного ответвителя и входные цепи измерительного прибора являются достаточно линейными. В противном случае под воздействием сильного основного колебания в указанных элементах схемы измерительной установки возникнут гармонические и комбинационные колебания, мощность которых будет превосходить мощность измеряемых побочных колебаний, подаваемых передатчиком в фидерную линию.

Измерительная установка состоит (рис. 2.9) из направленных ответвителей, коаксиального переключателя (коммутатора), перестраиваемого фильтра, генератора сигналов и измерительного приемника (селективного микровольтметра).

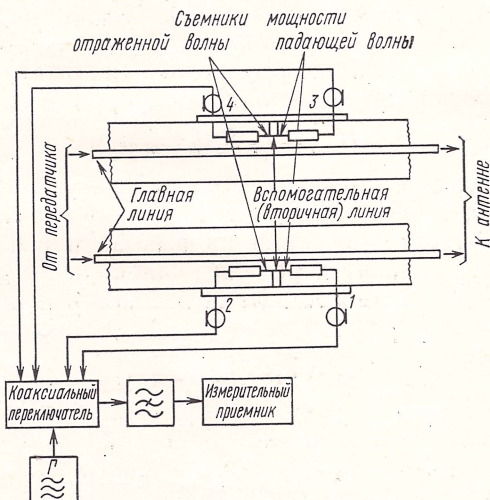


Рис. 2.9. К измерению проходящей мощности побочных колебаний с помощью направленных ответвителей

Направленные ответвители (съемники мощности) встраивают на входе фидерной линии после фильтрующих устройств передатчика. Один направленный ответвитель ориентирован на измерение мощности падающей, другой — отраженной волны. В передатчиках с симметричным выходом направленные ответвители встраивают в оба фидера.

Коаксиальный переключатель (коммутатор) необходим для подключения выходов направленных ответвителей, а также высокочастотного генератора сигналов к измерительному приемнику.

Перестраиваемый фильтр служит для снижения уровня основного колебания. Частоты измеряемых побочных колебаний должны находиться в полосе пропускания этого фильтра.

В качестве измерительных приемников могут применяться приборы серии П5, рассмотренные в § 2.5—2.7, а также селективные микровольтметры типа SMV-6 и SMV-8 (см. § 6.4), которыми пе-

рекрывается полоса частот от 100 кГц до 1000 МГц. Вся измеряемая полоса может перекрываться несколькими измерительными приемниками.

Как указывалось в § 2.8, количественную связь между мощностями, проходящими в главной линии и в направленном ответвителе, характеризует коэффициент передачи или коэффициент связи, который в зависимости от конструкции фидерной линии, ее волнового сопротивления и других факторов определяют экспериментальным путем.

В лабораторных условиях калибровку направленных ответвителей производят на коаксиальной секции фидера длиной 1,5 м со встроенными в нее направленными ответвителями. Схема измерительной установки для калибровки направленных ответвителей показана на рис. 2.10. Установка состоит из генераторов сигнала $Г_1$ и $Г_2$, коаксиальной секции, а также измерительных приемников тех типов, которые будут использованы для измерения мощности побочных колебаний.

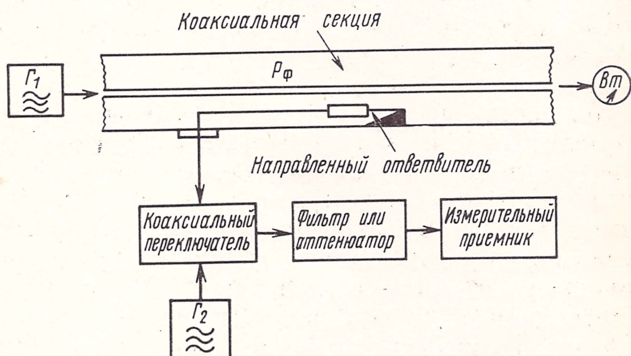


Рис. 2.10. Структурная схема установки калибровки направленного ответвителя

Направленный ответвитель калибруют по проходящей мощности на основной частоте с аттенюатором на 30 . . . 40 дБ (в зависимости от мощности передатчика), а на остальных частотах — совместно с фильтром. С помощью измерителя измеряют мощность в главной линии (фидере) $P_ф$ и, используя метод замещения, определяют мощность $P_{пад}$, снимаемую с направленного ответвителя, ориентированного на падающую волну. Коэффициент калибровки по мощности

$$K_P = P_ф / P_{пад}. \qquad (2.21)$$

Соответствующим образом можно определить коэффициент калибровки направленного ответвителя по напряжению:

$$K_U = U_ф / U_{пад}. \qquad (2.22)$$

В производственных условиях применяют упрощенный метод калибровки направленных ответвителей. Для этого измеряют мощность в фидерной линии $P_ф$ одним из известных методов, напри-

мер рассмотренным в § 1.12. К измерительному приемнику, настроенному на частоту основного колебания, подключают один из ответвителей, ориентированный на падающую волну. Методом замещения измеряют мощность $P_{пад}$ и рассчитывают K_P по формуле (2.21) или измеряют напряжение $U_{пад}$ и коэффициент рассчитывают по формуле

$$K_P = P_ф/U^2_{пад}. \tag{2.23}$$

Коэффициент калибровки обычно указывается в технической документации на направленный ответвитель.

Для выявления номиналов частот побочных колебаний в одном из режимов работы измеряемого передатчика устанавливают номинальную мощность излучения. Фильтр измерительной установки (см. рис. 2.9) настраивают на частоту основного колебания передатчика. К измерительному приемнику подключают один из направленных ответвителей, ориентированных на падающую волну. Приемник перестраивают во всей заданной полосе частот, фиксируя номиналы частот побочных колебаний, одновременно проверяют принадлежность их к измеряемому передатчику путем выключения последнего.

После этого необходимо убедиться в достаточности экранирования измерительной установки. Для этого отключают от выходов направленных ответвителей соединительные линии (см. рис. 2.9), устанавливают максимальную чувствительность приемника и перестраивают его по всем выявленным номиналам побочных колебаний. Если при этом побочные колебания не будут фиксироваться приемником, то экранирование будет достаточным. Если приемник фиксирует колебания на одной из частот, то необходимо измерить величину наведенного на соединительную линию напряжения $U_н$, подключить соединительную линию к направленному ответвителю, ориентированному на падающую волну, измерить снимаемое с него напряжение $U_{пад}$ и рассчитать экранирование $Э$ по формуле

$$Э = 20 \lg (U_{пад}/U_н) - Э_{пр}. \tag{2.24}$$

Экранирование будет достаточным, если полученный по (2.24) результат будет положительным.

Измерение начинают с определения проходящей мощности основного колебания. В измерительную установку (см. рис. 2.9) вместо фильтра включают аттенюатор. Измерительный приемник настраивают на частоту основного колебания передатчика. К установке подключают ответвитель *1*, ориентированный на падающую волну, и фиксируют показание индикаторного прибора приемника. Не изменяя настройки и усиления приемника, подключают генератор сигналов и методом замещения определяют значения падающей мощности колебания первого ответвителя $P_{о.пад1}$. Таким же методом определяют значения отраженной мощности первого ответвителя $P_{о.отр1}$, а также падающей и отраженной мощностей второго ответвителя $P_{о.пад\,2}$ и $P_{о.отр\,2}$. Проходящую мощность основного колеба-

ния $P_о$ определяют как сумму проходящих мощностей в обоих фидерах:

$$P_о = K_P (P_{о.пад\,1} - P_{о.отр\,1}) + K_P (P_{о.пад\,2} - P_{о.отр\,2}). \qquad (2.25)$$

После этого перестраивают измерительный приемник на частоту первого побочного колебания. В измерительную установку (см. рис. 2.9) вместо аттенюатора включают режекторный фильтр, который снижает мощность основного колебания. Дальнейшее измерение проходящей мощности побочного колебания проводится по описанной выше методике, а абсолютное значение проходящей мощности побочного колебания определяют по аналогии с (2.25):

$$P_п = K_P (P_{п.пад\,1} - P_{п.отр\,1}) + K_P (P_{п.пад\,2} - P_{п.отр\,2}). \qquad (2.26)$$

Относительный уровень побочных колебаний определяют по (2.3).

Если направленные ответвители на рис. 2.9 откалиброваны по напряжению, то формулы (2.25) и (2.26) имеют вид

$$P_о = K_U (U^2_{о.пад\,1} - U^2_{о.отр\,1}) + K_U (U^2_{о.пад\,2} - U^2_{о.отр\,2}), \qquad (2.27)$$

$$P_п = K_U (U^2_{п.пад\,1} - U^2_{п.отр\,1}) + K_U (U^2_{п.пад\,2} - U^2_{п.отр\,2}). \qquad (2.28)$$

В передатчиках с несимметричным выходом измерение соответственно упрощается и проходящая мощность определяется как разность падающей $P_{пад}$ и отраженной $P_{отр}$ мощностей:

$$P_{пр} = P_{пад} - P_{отр}. \qquad (2.29)$$

Измерение с помощью приборов М2-22 и М2-23. Применение измерителей мощности типа М2-22 и М2-23 для измерения проходящей мощности побочных колебаний в фидерных линиях передатчиков диапазона декаметровых волн упрощает описанный выше метод и сокращает тем самым время его проведения.

В комплект указанных приборов входит измерительная секция, фидер которой имеет волновое сопротивление 150 Ом, внутренний диаметр наружного экрана 150 мм и наружный диаметр внутреннего провода 13 мм. Измерительная секция откалибрована по частоте в полосе измерений приборов и встраивается в фидерные линии передающих устройств.

Измерение мощности побочных колебаний проводят прямым методом, используя измерительную установку, схема которой приведена на рис. 11.

Измеряемый передатчик включают на передачу, как было описано выше, настраивают прибор М2-23 (М2-22) на частоту измеряемых побочных колебаний и с помощью коммутатора подключают направленные ответвители, ориентированные на падающую и отраженную волны, фиксируя соответственно показания индикаторного прибора $\alpha_{пад}$ и $\alpha_{отр}$. Проходящую мощность рассчитывают по формуле

$$P_{пр} = P_{пад} - P_{отр} = K (\alpha^2_{пад} - \alpha^2_{отр}). \qquad (2.30)$$

В передатчиках с симметричным выходом проходящая мощность по аналогии с (2.26) и (2.28) будет равна

$$P_{пр} = P_{пр1} + P_{пр\,2} = K (\alpha^2_{пад\,1} - \alpha^2_{отр\,1}) + K (\alpha^2_{пад\,2} - \alpha^2_{отр\,2}), \qquad (2.31)$$

где $\alpha_{пад\,1}$ и $\alpha_{отр\,1}$ — показания индикаторного прибора при измерении падающей и отраженной волн первого ответвителя.

При измерении проходящей мощности побочных колебаний в нестандартных экранированных фидерах необходимо в формулы (2.30) и (2.31) добавить поправочный коэффициент K'. Значение

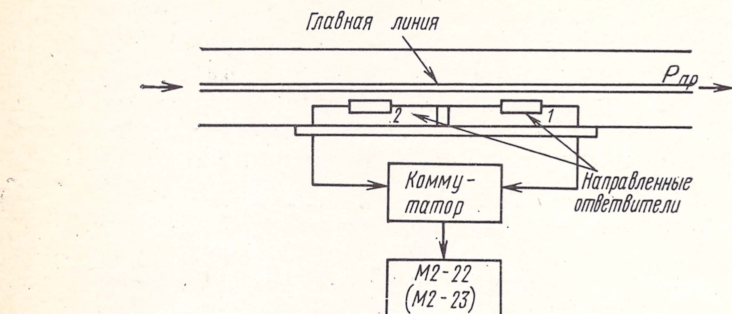


Рис. 2.11. Структурная схема измерения побочных колебаний с помощью измерителей М2-22 (М2-23)

Таблица 2.4

Сечение фидера	ρ, Ом	K′
Ф150, Ф13	300	1
Ф300, Ф14	120	1,7
Ф16, 150	300	0,48
Ф8, 80	300	0,123
Ф160, Ф60	120	0,45
180, 90, Ф8, 90	300	0,28
560, 300, Ф20, 150	300	18

этого коэффициента для часто встречающихся фидеров рассчитано и проверено в лабораторных условиях [16]. В табл. 2.4 приведены сечения и волновые сопротивления фидеров и поправочные коэффициенты.

М е т о д м н о г о в о л н о в ы х и з м е р е н и й. Измерение проходящей мощности побочных колебаний в многоволновых линиях базируется на методе расширенного волновода, распространение колебаний в котором приближается по характеру к распространению в свободном пространстве. Волновое сопротивление и постоянная распространения в расширенном волноводе практически оказываются не зависящими от вида волны. Благодаря этому свойству суммарную проходящую мощность можно получить простым усреднением значений мощностей, измеренных отдельными съемниками мощности (направленным ответвителем или зондом).

По этому принципу работает двунаправленный ответвитель

суммарной мощности, применяемый [10] для измерения мощности побочных колебаний в фидерных линиях телевизионных передатчиков в полосе частот до 2 500 МГц.

Направленный ответвитель (рис. 2.12) состоит из двух конусных переходов, между которыми в расширенном волноводе расположена измерительная секция с шестью одинаковыми съемниками мощности. Первый их ряд используется для измерения мощности падающей волны, второй — отраженной волны.

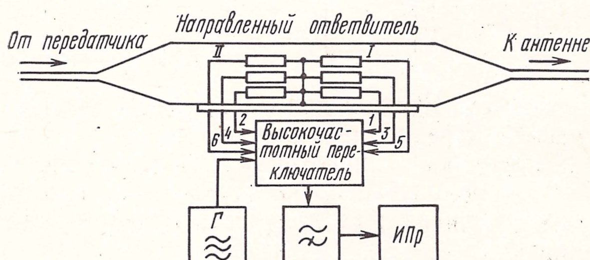


Рис. 2.12. Структурная схема установки для измерения мощности побочных колебаний в фидерной линии телевизионного передатчика

С помощью переключателя через фильтр верхних частот к приемнику подключают выходы направленных ответвителей *1—6*. Методом замещения измеряемого сигнала сигналом генератора с калиброванной мощностью определяют $P_{пад\,1,3,5}$ и $P_{отр\,2,4,6}$, которые соответствуют мощностям на выходах *1—6* направленных ответвителей.

Значение проходящей суммарной мощности рассчитывают усреднением трех проходящих через направленные ответвители мощностей по формуле

$$P_{пр} = \frac{1}{3} K_P (P_{пад\,1} + P_{пад\,3} + P_{пад\,5} - P_{отр\,2} - P_{отр\,4} - P_{отр\,6}). \qquad (2.32)$$

Погрешность измерения этим методом не превышает 7 дБ при КБВ в коаксиальной линии на частоте основного колебания не менее 0,1. Направленные ответвители должны иметь при этом направленность при возбуждении колебаний типа *T* не менее 18 дБ, переходное ослабление на частоте 1000 МГц в пределах 55 ... 65 дБ и разброс переходных ослаблений съемников мощности не более 1 дБ.

Метод расширенного волновода широко применяют при измерении побочных колебаний в волноводах различных видов волн импульсных классов излучений.

Структурная схема простейшей измерительной установки, в которой реализован метод расширенного волновода, приведена на рис. 2.13.

Измеряемый передатчик Пер подключен к волноводному удлинителю *1*, предназначенному для исключения ошибки измерения,

обусловленной фазовыми соотношениями между отдельными видами колебаний. Далее измеряемые побочные колебания проходят конический переход *2*, волноводную секцию *3* и рассеиваются в нагрузке *4*.

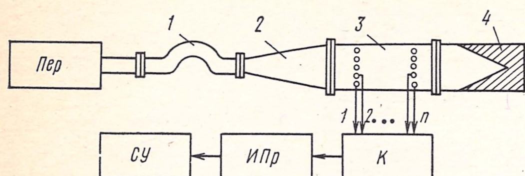


Рис. 2.13. Иллюстрация метода многоволновых измерений:

1 — волноводный удлинитель; *2* — конический переход; *3* — волноводная секция с зондами; *4* — многоволновая нагрузка

Конический переход служит для расширения волновода; чем длиннее конический переход при плоской форме стенок или чем ближе профиль перехода к некоторой рассчитанной идеальной форме, тем легче выполнить основное требование при конструировании конического перехода: не допустить преобразования в нем видов колебаний.

В волноводную секцию встроено n зондов, которые не должны вызывать существенных нарушений в распределении поля в расширенном волноводе. В этой секции может быть до 36 зондов с коэффициентами связи с полем в полосе частот до 3 ГГц порядка 45 дБ, а в полосе 3...10 ГГц — порядка 38 дБ. Нагрузка должна поглощать мощности побочных колебаний всех видов и основного колебания.

Измерение мощности побочных колебаний проводят путем настройки измерительного приемника ИПр на частоту побочного колебания и коммутации мощности, снимаемой со всех зондов волновой секции. При этом коммутатор К может работать автоматически или иметь ручное переключение. Важным требованием, предъявляемым к коммутатору, является малая зависимость переходных потерь в контактах, равных 1...2 дБ от частоты.

Измерительный приемник выдает в схему усреднения СУ импульсы с длительностью, равной длительности импульсов на выходе передатчика. В схеме усреднения импульсы преобразуются в постоянный ток, величина которого при работе коммутатора периодически изменяется в соответствии с теми значениями высокочастотного поля, которые индицируются отдельными зондами. Окончательный результат измерения мощности побочного колебания по усредненному значению постоянного тока отсчитывают по стрелочному индикаторному прибору.

Рассмотренный метод измерения можно полностью автоматизировать. Для этого необходимо, чтобы коммутатор мог автоматически подключать все выходы зондов к измерительному приемнику, что не вызывает технических трудностей. Нужно также, чтобы измерительный приемник имел привод перестройки по частоте, который должен управляться программным устройством в соответствии с обнаруженными побочными колебаниями. Результаты измерений выдает на печатное устройство схема усреднения.

Погрешность измерения описанным методом зависит от отношения размеров волновода и волноводной секции: чем это отношение больше, тем меньше погрешность измерения. Однако указанный метод становится сложным, обладающим значительными погрешностями при измерении побочных колебаний на частотах свыше 15 ГГц.

2.11. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОБОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА АКТИВНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ НАГРУЗКЕ

Мощность побочных колебаний передатчиков небольшой мощности удобно и просто определять по мощности, рассеиваемой на широкополосной активной нагрузке или эквиваленте антенны, включенных на выходе передатчика. Структурная схема измерительной установки (рис. 2.14), в отличие от уже рассмотренных в § 2.11 схем, содержит широкополосное активное нагрузочное сопротивление, на котором рассеивается излучаемая передатчиком мощность, в том числе и мощность побочных излучений.

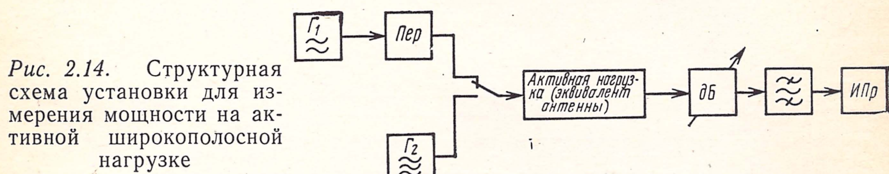


Рис. 2.14. Структурная схема установки для измерения мощности на активной широкополосной нагрузке

Передатчики, работающие в двухполосных режимах А3 и F3, при измерении не модулируют. Однополосные передатчики (режим А3J) модулируют сигналом звукового генератора $Г_1$ частотой 1000 Гц. Уровень этого сигнала определяется чувствительностью микрофона, который используется в передатчике. Обычно этот уровень оговаривается в техническом описании передатчика.

Избирательность измерительного приемника вместе с полосовым фильтром, измеренная двухсигнальным методом на частоте побочного колебания, должна превышать относительный уровень побочного колебания не менее чем на 6 дБ.

Для обеспечения работы измерительного приемника в линейном режиме на его вход включают переменный аттенюатор на 30...40 дБ.

Полосовой фильтр при измерении настраивают на частоту побочного колебания, а режекторный фильтр на частоту основного колебания. Если относительный уровень побочного колебания больше —60 дБ, то применение фильтров не обязательно.

Измерительную установку размещают, как правило, в экранированной камере.

Измерение проводят методом замещения в такой последовательности. Включают передатчик, вместо антенны которого подключена широкополосная нагрузка. Определяют номиналы частот побочных колебаний одним из рассмотренных методов. Мощность побочных излучений определяют по напряжению, создаваемому

передатчиком на активной нагрузке, начиная с самых низких выявленных частот побочных колебаний. Настраивают измерительный приемник ИПр, полосовой фильтр (если он применяется) на частоту побочного колебания. С помощью аттенюатора, регулируя усиление, настраивают измерительный приемник так, чтобы стрелка индикаторного прибора находилась в первой половине сектора шкалы. Фиксируют это показание.

С помощью переключателя подключают к широкополосной активной нагрузке генератор сигналов $Г_2$, который также настраивают на частоту того же побочного колебания и устанавливают напряжение U, значение которого соответствует рассеиваемой передатчиком мощности. Зная сопротивление активной нагрузки или эквивалента антенны $R_А$, мощность побочного колебания $P_п$ рассчитывают по элементарной формуле $P_п = U^2/R_А$. Нагрузочное сопротивление должно быть рассчитано на диапазон частот 30 ... ... 1000 МГц, иметь входное сопротивление 75 Ом, максимально допустимую среднюю мощность рассеяния 100 Вт и КСВ на выходе не более 1,4. Этим требованиям отвечают нагрузочные сопротивления типов З9-2 и З9-4.

Глава третья

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

На практике встречается большой круг задач, решение которых включает в себя определение напряженности электромагнитного поля или плотности потока мощности. К ним относятся изучение электромагнитной обстановки с целью выбора мест расположения приемных станций различных служб, определение помех, создаваемых различными радиоизлучениями, расчет зон обслуживания радиовещанием и телевидением и т. д.

Электромагнитное поле плоской волны характеризуется тремя взаимно перпендикулярными векторами: вектором напряженности электрического поля E, вектором напряженности магнитного поля H и вектором плотности потока мощности $П$. В свободном пространстве по одному измеренному вектору можно однозначно характеризовать энергию электромагнитного поля.

В реальных условиях одни и те же причины оказывают неодинаковое влияние на условия распространения радиоволн различных диапазонов. Вследствие этого, в отличие от случая распространения волн в свободном пространстве, энергии магнитной и электрической составляющих поля не равны между собой. Поэтому на практике измеряют ту составляющую электромагнитного поля, которая характеризует его наиболее полно.

В полосе частот мириаметровых волн (3 ... 30 кГц) измеряют, как правило, напряженность магнитного поля H. На более

высоких частотах, включая метровые волны (до 300 МГц), измеряют напряженность электрического поля E. В полосе частот 300 ... 1000 МГц (в зависимости от цели) измеряют напряженность электрического поля или плотность потока мощности. На частотах свыше 1000 МГц измеряют плотность потока мощности $П$.

В зависимости от назначения применяют измерители напряженности поля или измерители плотности потока мощности.

Измеритель напряженности поля (рис. 3.1) состоит из измерительной антенны с известной действующей длиной $h_д$ и приемника с калиброванным усилением и вольтметром. Им измеряют напряженность поля синусоидальных сигналов, для которых градуируется вольтметр. Импульсные сигналы измеряют измерителем радиопомех. Поэтому приемник должен иметь нормированные полосу пропускания, импульсную характеристику и постоянную времени вольтметра. Обычно применяют комбинированные приемники ПК3-5, ПК3-6, с помощью которых можно измерять как синусоидальные, так и импульсные сигналы.

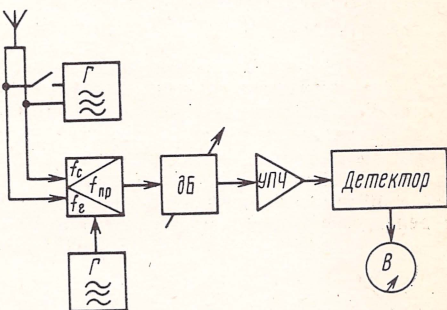


Рис. 3.1. Структурная схема измерителя напряженности поля

Напряженность электрического поля E определяют по измеренному на входе приемника напряжению $U_{вх}=h_д E$, откуда

$$E=U_{вх}/h_д=U_{вых}/K\,h_д, \tag{3.1}$$

где K — коэффициент усиления приемника.

Необходимо отметить, что выражение (3.1) справедливо при одинаковом направлении измерительной антенны и вектора напряженности электрического поля линейно поляризованной волны.

Напряженность поля E измеряют в вольтах на метр. Однако эта единица строго применима только к электрической составляющей поля. В некоторых случаях, например в свободном пространстве, в вольтах на метр измеряют и магнитную составляющую поля.

Измеритель плотности потока мощности (см. рис. 3.7) состоит из измерительной антенны с известной эффективной площадью и измерителя мощности.

Плотность потока мощности $П$ определяют по измеренной на выходе измерительной антенны мощности $P_{вых}$:

$$П=P_{вых}/S_{эфф}. \tag{3.2}$$

Эффективная площадь антенны $S_{эфф}$ связана с коэффициентом усиления этой антенны и длиной волны выражением (2.14), а с

действующей длиной $h_д$ и входным сопротивлением — выражением (2.15).

Плотность потока мощности *П* измеряют в ваттах (или его дольных единицах) на квадратный метр.

3.2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Измерительные антенны. В измерительных приборах для измерения напряженности поля на частотах ниже 30 МГц применяют рамочную или штыревую антенну. В полосе частот 30 ... 300 МГц (для некоторых приборов, например П6-28, — до 1000 МГц) применяют симметричный полуволновой диполь, на частотах свыше 300 МГц — рупорные антенны.

Рамочные антенны могут быть одновитковыми и многовитковыми, симметричными и несимметричными. Для устранения антенного эффекта плечи рамочной антенны с симметричным выходом симметрируют относительно земли (рис. 3.2) сдвоенным конденсатором переменной емкости, а антенны с несимметричным выходом — переменной индуктивностью (рис. 3.3). Кроме того, влияние антенного эффекта на точность измерения напряженности поля уменьшается путем электрического экранирования рамочной антенны. Экран антенны делают не сплошным, а разрезанным у вершины рамки (см. рис. 3.9).

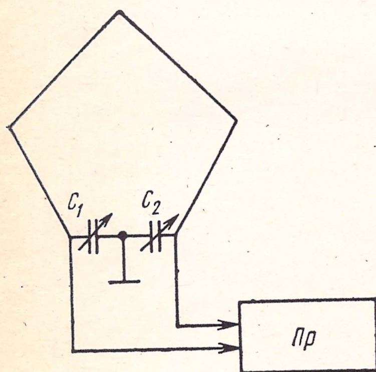


Рис. 3.2. Подключение рамочной антенны к измерительному приемнику с симметричным входом

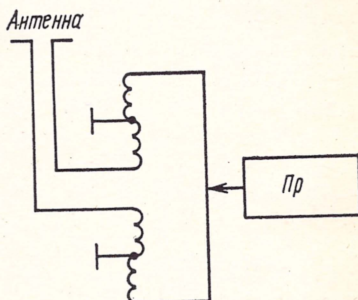


Рис. 3.3. Подключение рамочной антенны к измерительному приемнику с несимметричным входом

Действующая длина рамочной антенны зависит от числа витков n, площади рамки S и ее добротности Q и определяется по формуле

$$h_д = (2\pi n/\lambda) SQ, \tag{3.3}$$

где λ — длина волны, на которой производят измерение напряженности поля, м. Длина штыревых антенн равна 1 м, а действующая длина — 0,5 м. Штырь, как и рамочная антенна, непосредственно крепится на измерительном приборе.

Симметричный полуволновый диполь (рис. 3.4) имеет сопротивление излучения около 70 Ом. Для уменьшения геометрических размеров в полосе частот 30 . . . 100 МГц полуволновой диполь укорачивают, а его настройку производят с помощью индуктивности. Действующая длина полуволнового диполя определяется по формуле

$$h_{д.дип} = (\lambda/\pi)(1 - \cos Kl)/\sin Kl, \tag{3.4}$$

где l — длина половины диполя, м.

Рупорные антенны (рис. 3.5) обладают высокой направленностью и коэффициентом усиления до 30 дБ и более. Эффективная площадь рупорной антенны $S_{эфф}$ при распределении поля на излучающей антенне по косинусоидальному

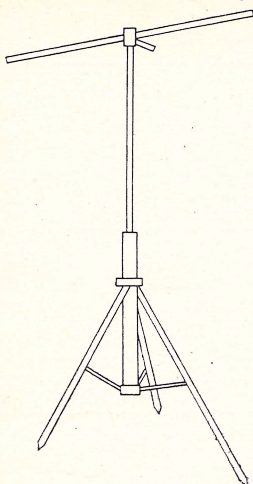


Рис. 3.4. Измерительный симметричный полуволновой диполь

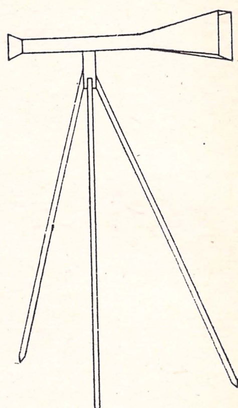


Рис. 3.5. Измерительная рупорная антенна

закону вдоль одной оси и равномерно вдоль другой оси определяется геометрическим раскрывом антенны $S_р$:

$$S_{эфф} = 0{,}81\, S_р. \tag{3.5}$$

Связь эффективной площади рупорной антенны с коэффициентом ее усиления G и длиной волны определяют по формуле

$$S_{эфф} = G\lambda^2/4\pi. \tag{3.6}$$

Рупорные антенны имеют 75(50)-омный высокочастотный тракт или волновод соответствующих применяемым для измерения частот размеров.

Основные технические характеристики измерительных антенн некоторых типов приведены в табл. 3.1.

Измерители напряженности поля. Измеритель напряженности поля и радиопомех (комбинированный) ПК3-5 (рис. 3.6) состоит из измерительной антенны П6-28 и измерительного приемника П5-19. Прибор предназначен для измерений напряженности поля и радиопомех, для измерений напряжений и мощностей слабых сигналов от 10^{-13} до 10^{-1} Вт и для относительных измерений мощностей в полосе частот 255 ... 500 МГц.

Пределы измерения напряженности поля линейно поляризованной плоской волны синусоидального сигнала составляют 120 ... 530 000 мкВ/м. Прибор приемника проградуирован в децибелах относительно 1 мкВ и измеряет среднее, среднеквадратичное, квазипиковое и пиковое значения входного сигнала с напряжением 6 мкВ ... 100 мВ.

Технические характеристики и описание структурной схемы измерительного приемника П5-19 приведены в § 2.5. Технические характеристики измерительной антенны П6-28 приведены в табл. 3.1.

Измеритель напряженности поля и радиопомех (комбинированный) ПК3-6 с полосой рабочих частот 50 ... 1000 МГц состоит из измерительной антенны П6-28 и измерительного приемника П5-20. Остальные технические характеристики такие же, как и у прибора ПК3-5. Измерители радиопомех рассмотрены в гл. 6.

Таблица 3.1

Тип антенны	Диапазон частот, ГГц	Коэффициент усиления	Волновое сопротивление, Ом, и размеры волновода, мм, ВЧ тракта	КСВ	Масса со штативом, кг
П6-23	0,1 . . . 1	1,5	50	1,8	72
П6-28	0,25 . . . 1	1,5	75	1,3	68
П6-23А	1 . . . 12	10 . . . 26 дБ	50 с переходами 28,5×12,6 и 23×10	1,5	66
П6-34	0,25 . . . 1	1,5	50; 75	1,75	86
П6-31	0,3 . . . 2,5	—	50	1,5	31
П6-32	0,3 . . . 2,5	—	50	1,5	31
П6-32А	16,7 . . . 25	—	11×5,5	1,5	31
П6-30	16,7 . . . 25	—	11×5,5	1,5	31
П6-10А	25 . . . 37,5	—	7,2×3,4	1,6	31
П6-11А	25 . . . 36,5	—	7,2×3,4	1,6	31

Примечание. Антенны П6-23 и П6-28 имеют дипольную конструкцию, остальные — рупорную.

Измерители плотности потока мощности. В комплект измерителя плотности потока мощности П3-13 входят десять измерительных антенн П6-12—П6-21, измеритель малых уровней мощности М3-10 в комплекте с

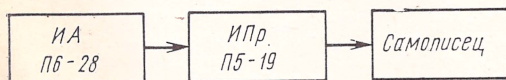


Рис. 3.6. Структурная схема измерителя напряженности поля ПК3-5

термисторными головками М5-17—М5-22. Измеритель предназначен для измерения плотности потока мощности в полосе частот от 300 МГц до 16,7 ГГц. Структурная схема измерительной установки представлена на рис. 3.7.

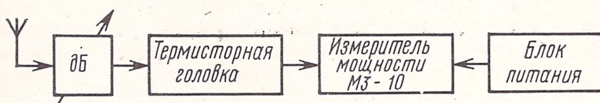


Рис. 3.7. Структурная схема измерителя плотности потока мощности П3-13

Технические характеристики измерительных антенн П6-12—П6-21 приведены в табл. 3.2.

Измеритель малых уровней мощности М3-10 представляет собой термисторный ваттметр. Он применяется для измерения малых мощностей (0,05 . . . 7,5 мВт) незатухающих и импульсно-модулированных сигналов в полосе частот от 150 МГц до 16,7 ГГц. Основными элементами схемы прибора являются двойной уравновешенный мост М1-М2 (рис. 3.8), генератор 60 кГц, нуль-индикатор ИП-2, измерительный прибор ИП-1 и два стабилизированных источника постоянного тока E_1 и E_2. Мост M_1 — внешний по отношению к мосту M_2, входящему в одно из его плеч. В одно из плеч моста M_2 включен термистор $R_т$.

Перед измерением отключают источник E_2 и генератор 60 кГц и устанавливают определенную мощность подогрева термистора током источника E_1. Затем

Таблица 3.2

Комплект	Измерительная антенна			Пределы измерений мощности, мкВт/см²		Волновое сопротивление, Ом, или размеры волновода, мм, ВЧ тракта	КСВ
	Тип	Диапазон частот, ГГц	Эффективная площадь, см²	нижний	верхний		
А	П6-21	0,3...2,0	2000...100	0,074...5,4	0,68...30	75	2
	П6-20	1,8...2,7	100	0,47...0,64	2,74...9,3	110×55	2
Б	П6-19	2,5...3,75	100	0,54...0,61	1,22...8,7	72×34	1,8
	П6-18	3,75...6,0	100	0,59...0,65	1,36...9,4	48×24	1,8
В	П6-17	5,6...8,4	7,5	1,18	0,6...0,79	35×15	1,5
	П6-16	5,6...8,4	50	1,18	0,6...0,79	35×15	1,5
	П6-15	8,4...11,5	5	1,2	1,2...1,44	23×10	1,5
	П6-14	8,4...11,5	50	1,2	1,2...1,44	23×10	1,5
	П6-13	11,5...16,7	5	1,4	1,44...1,53	17×8	1,5
	П6-12	11,5...16,7	50	1,4	1,44...1,53	17×8	1,5

Примечание. Антенна П6-21 — логарифмическая, остальные — рупорные.

включают генератор 60 кГц и термистор дополнительно разогревают током этого генератора. Ток генератора 60 кГц устанавливают таким, чтобы сопротивление термистора соответствовало балансу моста M_2. Мост M_1 также оказывается сбалансированным, что регистрируется по нулевому показанию ИП-2.

Измерение мощности проводят балансным методом или методом прямого отсчета. В первом случае после первоначальной балансировки измеряемая мощность подается на термистор, что вызывает изменение сопротивления и разбалансировку мостов. Затем включают в схему дополнительный источник постоянного тока E_2. Поскольку токи источников E_1 и E_2 в термисторе направлены навстречу друг другу, результирующий ток уменьшится, что вызовет охлаждение термистора. Ток источника E_2 увеличивают до тех пор, пока мосты окажутся снова сбалансированными. Чем больше измеряемая мощность поглощается термистором, тем больший ток источника E_2 потребуется для балансировки моста. Этот ток измеряется прибором ИП-1, отградуированным в единицах мощности.

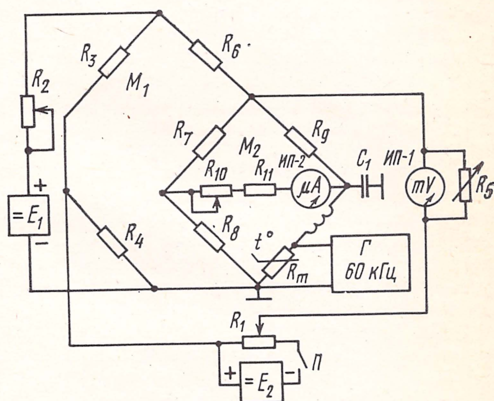


Рис. 3.8. Функциональная схема измерителя мощности М3-10

При измерении методом прямого отсчета после балансировки мостов M_1 и M_2 при выключенном источнике E_2 на термистор подают измеряемую мощность. Так как сопротивление термистора при этом изменяется, мосты разбалансируются. Степень разбалансировки мостов будет зависеть от измеряемой мощности, что будет регистрировать прибор ИП-2.

Погрешность измерения плотности потока мощности синусоидальных сигналов этим методом не превышает 30%.

Технические характеристики различных комплектов прибора П3-13 приведены в табл. 3.2.

3.3. КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ

Измерительные приемники, применяемые в установках для измерения напряженности поля, обычно имеют встроенные калибраторы усиления приемника. Калибровку приемника в этих условиях производят по внутреннему калибратору, руководствуясь техническим описанием данного измерительного приемника. Для калибровки приемника, не имеющего внутреннего калибратора, применяют генераторы сигналов.

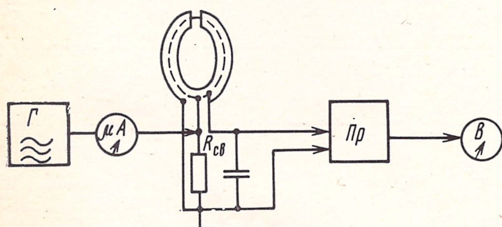


Рис. 3.9. Структурная схема калибровки измерителя напряженности поля с рамочной антенной

В измерителях напряженности поля с рамочными антеннами генератор сигналов для калибровки подключают непосредственно к антенне (рис. 3.9), чем обеспечивают большую точность калибровки, а следовательно, и измерений напряженности поля, так как при градуировке учитываются все цепи приемника, включая антенну. Этот способ отличается также простотой и стабильностью измерений.

На более высоких частотах, когда антенна измерителя напряженности вынесена (см. рис. 3.4, 3.5), напряжение от генератора сигналов подается непосредственно на вход калибруемого приемника.

Необходимо помнить, что внутренняя калибровка сохраняется ограниченное время и может нарушаться по многим причинам (нестабильность источников питания приемника, влияние окружающей температуры, влажности воздуха, перегрузка каскадов приемника и т. д.). Поэтому внутреннюю калибровку следует проверять по внешним стандартам, которые должны давать сигнал той же формы, что и у измеряемого сигнала. Проверку измерительного приемника проводят до тех пор, пока не будет определена стабильность его усиления. Она осуществляется при различных уровнях, чтобы можно было контролировать работу аттенюаторов и линейность приемника. При этом необходимо следить за согласованием измерительного тракта. Рассогласование может повлиять на точность аттенюаторов, на точность измерения широкополосных сигналов, вызвать изменение чувствительности приемника при изменении частоты его настройки и т. д.

Внешнюю калибровку измерителей напряженности поля проводят методом «стандартного поля» или «стандартной антенны». В первом случае с помощью генератора создается известная напряженность поля непосредственно около измерителя. Для калибровки измерителей напряженности поля с рамочными антеннами применяют эталонный прибор П1-4, с помощью которого воспроизводится эталонное поле индукции с погрешностью не более 4%. Показания измерителя пропорциональны магнитной составляющей поля, а калибровку измерителя производят в соответствии с соотношением $E=120\pi H$.

Таким измерителем напряженности поля можно пользоваться только в дальней зоне (см. § 2.10).

Измерители напряженности поля с дипольными и рупорными антеннами калибруют методом «стандартной антенны». Сущность этого метода сводится к измерению одной и той же напряженности поля эталонным и калибруемым измерителями и определению коэффициента пропорциональности между значением напряженности поля и показаниями выходного прибора измерительного приемника.

Калибровку измерителей напряженности поля с дипольными антеннами производят с помощью эталонного прибора П1-6, в который входит эталонная полуволновая дипольная антенна с известными параметрами. Погрешность измерения не превышает 6%.

Калибровку измерителей напряженности поля с рупорными антеннами производят с помощью эталонного измерителя, состоящего из термисторного моста, термисторных головок, измерителя мощности и эталонной рупорной антенны. С помощью этого прибора измеряют также эффективную площадь антенны. При этом методе калибровки (рис. 3.10) основную погрешность вносят

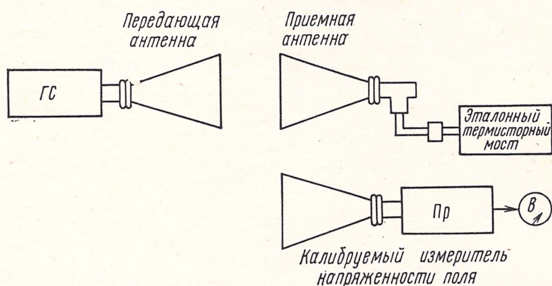


Рис. 3.10. Структурная схема калибровки измерителя напряженности поля с рупорной антенной

рассогласование, измерение мощности и определение эффективной площади антенны. Общая погрешность составляет 3...4%.

Калибровку измерителя напряженности поля со штыревыми антеннами производят с помощью эталонного плоского конденсатора.

3.4. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В каждом конкретном случае измерения напряженности поля метод измерений обусловливается целями и условиями их проведения. Однако есть общие методические правила, на которых следует остановиться.

При выборе метода измерений стремятся к тому, чтобы измерения были легко воспроизводимыми и чтобы в случае необходимости их можно было проверить. Важно также, чтобы измерения обеспечивали получение требуемой информации. В то же время методы измерений не должны быть громоздкими и дорогостоящими.

Измерения в соответствии с поставленной целью регламентируются по времени проведения. Это может быть непрерывная запись значений напряженности поля в течение нескольких часов за одни сутки, измерение в короткие промежутки времени (например, в течение 5 с каждые две минуты) или более продолжительные промежутки времени (например, в течение 10 мин каждый час) и т. д.

На результаты измерений влияет окружающая среда. Измерения напряженности поля или плотности потока мощности обычно производят с приемной антенной, находящейся в тех же условиях, в которых она будет находиться в эксплуатации. Необходимо учитывать, что на прием излучений любого РЭС существенное

влияние оказывают деревья, здания, провода линий электропередач и т. д. Поэтому при измерении напряженности поля мешающего РЭС важно принимать во внимание эти факторы. Если измерения напряженности поля проводятся для определения излучаемой мощности, снятия диаграмм направленности излучения антенн, то площадку для размещения измерителей напряженности поля следует выбирать с минимумом мешающих факторов, которые могут снизить точность измерений.

К таким факторам на низких частотах относятся подземные кабели. Поэтому площадку для измерений в подобном случае следует выбирать как можно дальше от подземных кабелей. Особенно следует избегать подземных кабелей большой протяженности и кабелей, подключенных к воздушным линиям.

Влияние воздушных проводных линий и кабельных линий учитывают и на более высоких частотах. Следует также иметь в виду, что электромагнитное поле диапазонов метровых и дециметровых волн искажается деревянными опорами или другими диэлектриками и проводниками.

Кроме того, большое влияние на электромагнитное поле оказывают параметры земли. Если антенна источника и антенна измерителя напряженности поля имеют горизонтальную поляризацию и находятся близко к земле, то поле будет возрастать почти линейно с высотой до тех пор, пока не будет достигнут максимум. При дальнейшем подъеме измерительной антенны будут наблюдаться интерференционные максимумы и минимумы. При вертикальной поляризации напряженность поля не изменяется до определенной высоты измерительной антенны. Эта высота прямо пропорциональна диэлектрической проницаемости почвы и обратно пропорциональна частоте. Например, при обычной почве на частоте 40 МГц напряженность поля постоянна до высоты 5 м, а затем поле может изменяться. Недооценка этого фактора может привести к значительным погрешностям.

При определении зон обслуживания радиовещанием и телевидением большинство измерений проводят в городах и крупных населенных пунктах. Иногда они дополняются измерениями вдоль радиальных линий связи от места расположения передатчика. Измерения рекомендуется проводить при поднятой на 10 м антенне. На частотах до 100 МГц сохраняется линейное изменение напряженности поля с высотой в интервале 3... 10 м. Поэтому в таком случае антенна может располагаться и не на стандартной высоте 10 м. Особенно необходимо это при измерении напряженности поля при движении измерительной установки. Однако на остановках и на частотах свыше 100 МГц измерения проводят с антенной, поднятой на высоту 10 м.

Площадки для проведения измерений выбирают произвольно по карте населенного пункта, но плотность проведения измерений должна быть пропорциональна плотности распределения населения. На каждой выбранной площадке проводят ряд измерений через несколько метров одно от другого, а результаты всех

измерений на данной площадке усредняют. Как правило, измерения на одной площадке обычно коррелируются, но результаты измерений в различных районах населенного пункта на одинаковых расстояниях от передающего устройства обычно различны. По результатам измерений для каждой рассматриваемой городской зоны составляется график распределения напряженности поля. Из этого графика можно найти процент пунктов, в которых превышается любая заданная напряженность поля.

На результат измерения напряженности поля или плотности потока мощности существенное влияние оказывает форма сигнала. Поэтому важно, чтобы измерительная аппаратура реагировала на сигналы той формы, которые подлежат измерению. Это достигается выбором характеристик детектора, ширины полосы пропускания, динамического диапазона, времени интегрирования и т. д.

Измерительный приемник реагирует на среднее значение сигнала, если схема, расположенная после его линейного детектора, позволяет усреднить выходное напряжение детектора по большому интервалу времени. Среднее значение обычно измеряют для излучений классов А3, F3, А1 или А2.

Пиковое значение сигнала измеряют приемником, на нагрузке детектора которого при воздействии регулярно повторяющихся импульсов с постоянной амплитудой создается напряжение, соответствующее пиковому значению амплитуды сигнала.

Измерения пиковых значений особенно полезны для сигналов с малой скважностью, включая импульсные радиопомехи, которые, как правило являются широкополосными. Если ширина полосы частот сигнала, подлежащего измерению, больше ширины полосы частот измерителя напряженности поля, то это влияет на пиковое значение, измеренное детектором. Правда, измерения некоторых простых классов излучений, проведенные при одной ширине полосы, можно скорректировать для другой ширины полосы.

Квазипиковое значение сигнала измеряют приемником, на нагрузке детектора которого при воздействии регулярно повторяющихся импульсов с постоянной амплитудой создается выходное

Таблица 3.3

Класс излучения	Измеряемый параметр
А0, А2, А3, А4, А9, F0, F1, F2, F3, F4, F5, F9 А1 (манипуляция) А5 (отрицательная синхронизация)	Среднее значение сигнала
А1, А3А, А3В, А9В	Квазипиковое значение сигнала
А5 (положительная синхронизация) Р0 и другие импульсные излучения	Квазипиковое или пиковое значение сигнала

напряжение, равное части пикового значения амплитуды сигнала. Это напряжение увеличивается по мере возрастания частоты импульсов, приближаясь к пиковому значению.

Подлежащие измерению параметры различных излучений приведены в табл. 3.3. При использовании табл. 3.3 необходимо учитывать следующее:

ширина полосы частот измерителя напряженности поля должна быть достаточной для пропускания ЧМ излучений;

напряженность поля излучения А5 обычно определяют как пиковое значение белого; эту величину можно получить из среднего значения, если известна форма сигнала, излучаемого во время измерений.

Глава четвертая

ИЗМЕРЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ОТКЛОНЕНИЯ ЧАСТОТЫ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Каждому радиопередающему устройству или станции, работающим в соответствии с Регламентом радиосвязи [9], присваивается определенная частота радиочастотного спектра.

Радиочастотный спектр в полосе частот от 3 кГц до 3 000 ГГц разделен [9] на девять диапазонов от № 4 до № 12, каждый из которых охватывает частоты от $0{,}3\cdot 10^N$ до $3\cdot 10^N$ Гц, где N — номер диапазона. Диапазоны частот, соответствующие им метрические подразделения и буквенные обозначения, приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Номер диапазона	Диапазон частот (исключая нижний, включая верхний пределы)	Соответствующее метрическое подразделение	Буквенное обозначение диапазона
4	От 3 до 30 кГц	Мириаметровые волны	ОНЧ
5	От 30 до 300 кГц	Километровые волны	НЧ
6	От 300 до 3000 КГц	Гектометровые волны	СЧ
7	От 3 до 30 МГц	Декаметровые волны	ВЧ
8	От 30 до 300 МГц	Метровые волны	ОВЧ
9	От 300 до 3000 МГц	Дециметровые волны	УВЧ
10	От 3 до 30 ГГц	Сантиметровые волны	СВЧ
11	От 30 до 300 ГГц	Миллиметровые волны	КВЧ
12	От 300 до 3000 ГГц	Децимиллиметровые волны	—

Диапазоны частот делятся на полосы частот, которые распределяются между службами. Таблица распределения частот в интервале от 10 кГц до 277 ГГц приведена в Регламенте радиосвязи.

4.2. ДОПУСТИМОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ЧАСТОТЫ

Как уже говорилось, каждому передающему устройству присваивается частота в зависимости от принадлежности к службе. *Присвоенная частота* — это середина полосы частот, присвоенной передающему устройству. Ширина присвоенной полосы частот равна необходимой ширине полосы частот плюс удвоенная абсолютная величина допустимого отклонения частоты.

Частоту, которую в данном излучении можно легко опознать и измерить, называют *характерной частотой,* а частоту, занимающую по отношению к присвоенной частоте фиксированное и точно определенное положение, — *относительной частотой.* Отклонение относительной частоты по отношению к присвоенной частоте имеет ту же абсолютную величину и знак, что и отклонение характерной частоты по отношению к середине полосы частот, занимаемой излучением.

Допустимое отклонение частоты — это максимальное допустимое отклонение средней частоты полосы частот, занимаемой излучением, от присвоенной частоты или характерной частоты излучения от относительной частоты. Допустимое отклонение частоты выражается в миллионных долях или герцах.

Из приведенных определений следует, что допустимое отклонение частоты передатчиков непосредственно влияет на эффективность использования радиочастотного спектра и должно составлять небольшую часть занимаемой полосы частот. Однако уменьшение потерь радиочастотного спектра, обусловленных большими значениями допустимого отклонения частоты передатчиков, является не единственным критерием эффективности.

Имеются станции, например радиолокационные, которые по административным и эксплуатационным соображениям не обязательно должны удовлетворять малым допускам на отклонение частоты. Такие станции работают в пределах присвоенных полос частот. Кроме того, более жесткие допуски на отклонения частоты передатчиков не во всех случаях могут быть реализованы из-за технических трудностей подобной реализации стабильности частоты в приемниках.

Таким образом, допустимые отклонения частоты устанавливают в зависимости от принадлежности передатчика к определенной службе, от диапазона волн, в котором он работает, и от его средней мощности.

В международных документах значения допустимых отклонений частоты передатчиков нормированы Приложением 3 Регламента радиосвязи [9]. Следует отметить, что нормируются только максимальные значения допустимых отклонений частоты, так как некоторые службы по техническим и эксплуатационным соображениям могут нуждаться в более малых допусках.

В нашей стране нормирование допустимых отклонений частоты передатчиков проводится с 1961 г., когда были утверждены Общесоюзные нормы стабильности частоты радиопередатчиков. В 1969 г. в эти нормы были внесены изменения, касающиеся стан-

ций морской подвижной службы. В 1974 г. утверждены переработанные Общесоюзные нормы на допустимое отклонение частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений [17].

Нормирование допустимых отклонений частоты передатчиков проведено по полосам частот, распределенных между службами [9]. Общая нормируемая полоса частот относится к радиопередатчикам, использующим частоты от 10 кГц до 40 ГГц. Значения норм установлены в зависимости от принадлежности радиопередатчика к службе и от его мощности. Для каждой группы передатчиков установлены две нормы: одна для действующих и для тех, которые будут введены в эксплуатацию до 1 января 1985 г., другая — для передатчиков, которые будут вводиться после указанного срока или разработка которых начата после 1 января 1976 г. Нормы указаны в герцах или миллионных долях.

Например, допустимое значение отклонения частоты радиовещательной станции, работающей в режиме синхронизации частоты, составляет 0,01 Гц, а судовых аварийных передатчиков — 5000 миллионных, что на верхней частоте полосы 10...535 кГц составит $535 \cdot 10^3 \cdot 5000 \cdot 10^{-6} = 2675$ Гц. Для радиовещательных станций, работающих в несинхронном режиме и использующих указанную выше полосу частот, допустимое отклонение частоты не должно превышать 10 Гц. Для станции радиоопределения, использующей полосу частот 2450 ... 10 500 МГц, в начале этой полосы допустимое отклонение частоты составляет $2450 \cdot 10^6 \cdot 2000 \times 10^{-6} = 4{,}9$ МГц, а в конце полосы — $10\,500 \cdot 10^6 \cdot 2000 \cdot 10^6 = 21$ МГц.

Из приведенных примеров следует, что для тех служб, которые по техническим и эксплуатационным причинам требуют жестких допусков на отклонение частоты, нормы приведены в герцах, а там, где требования менее жесткие, — в миллионных долях. Для некоторых перестраиваемых станций радиоопределения допускается такое отклонение частоты передатчика, при котором излучение станции не выходит за пределы присвоенной полосы частот.

Необходимо отметить, что допустимые значения отклонения частоты передатчиков, установленные нормами [17] для передатчиков, разработанных до 1976 г., в основном соответствуют Регламенту радиосвязи [9]. Для перспективных передатчиков установлены более жесткие нормы.

Контроль передатчиков на соответствие нормам [17] осуществляется на государственных и периодических испытаниях, а также в процессе эксплуатации передатчиков. Указанные в нормах значения допустимых отклонений частоты должны обеспечиваться в передатчике независимо от продолжительности времени его работы.

Соответствие передатчика нормам на допустимое отклонение частоты проверяют путем сравнения его средней частоты в полосе, занимаемой излучением, или характерной частоты с частотой эталонного генератора или частотомера. Точность измерения применяемых для контроля норм приборов должна быть на порядок

выше контролируемой нормы. В связи с этим высокие требования предъявляются к выбору метода измерений и к измерительным приборам, используемым для контроля норм [17]. Из широко известных методов измерения частоты [11—13] предпочтительными являются метод дискретного счета и гетеродинный метод.

4.3. МЕТОД ДИСКРЕТНОГО СЧЕТА

Метод дискретного счета заключается в преобразовании измеряемого синусоидального или импульсного сигнала f_x в короткие импульсы, частота следования которых равна частоте входного сигнала, и подсчете числа этих импульсов N за фиксированный (калиброванный) промежуток времени $t_к$, т. е. $f_x=N/t_к$. Если выбрать $t_к=1$ с, то $f_x=N$ Гц.

Измерительные приборы, в которых реализован метод дискретного счета, называют *электронно-счетными частотомерами*. Эти приборы предназначены для автоматического измерения частоты и периода синусоидальных и импульсных сигналов, интервалов времени, длительности импульсов, отношения частот и других целей. Результаты измерений электронно-счетным частотомером высвечиваются в цифровой форме. Кроме того, эти приборы производят счет числа импульсных и синусоидальных сигналов, выдают напряжения кварцованных частот и кодированную измерительную информацию для регистрации на цифропечатающей машине или для ввода в электронно-вычислительную машину.

Упрощенная структурная схема электронно-счетного частотомера приведена на рис. 4.1. Прибор состоит из входных устройств каналов А и Б, формирующих устройств ФУ, генератора меток времени ГМВ, управляющего устройства УУ, временно́го селектора ВС, электронного счетчика ЭСч с индикаторным устройством И, преобразователя частоты ПрЧ и блока питания прибора.

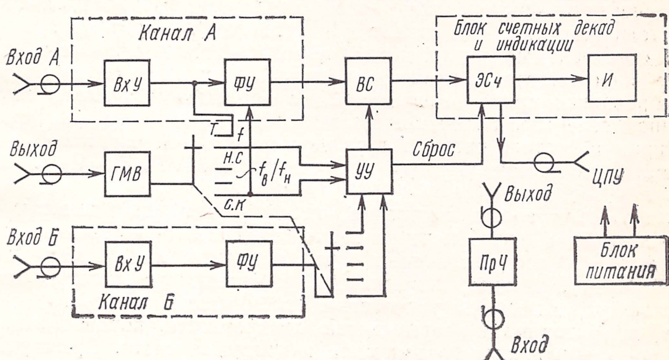


Рис. 4.1. Упрощенная структурная схема электронно-счетного частотомера

Входные устройства обеспечивают согласование прибора с измеряемым объектом. Они состоят из делителей напряжения и широкополосных усилителей, с помощью которых устанавливают необходимое значение и форму измеряемого напряжения для работы формирующих устройств каналов А и Б.

Формирующие устройства преобразуют измеряемый сигнал синусоидальной или импульсной последовательности в короткие импульсы счета, соответствующие по времени моменту перехода синусоидального сигнала через нуль (обычно с отрицательного полупериода) или началу импульса. Формирующее устройство состоит из усилителя, фазоинвертора и триггера, который и формирует импульсы счета. Высота импульсов и их форма не зависят от соответствующих параметров входного сигнала, но период следования сформированных импульсов равен периоду измеряемого сигнала.

Генератор меток времени состоит из высокочастотного кварцевого генератора (1 МГц, 5 МГц) и декадных делителей частоты. Кварцевый генератор вырабатывает синусоидальные сигналы со строго фиксированным периодом следования. От его работы зависят точность и стабильность работы всего прибора. Кварцевый резонатор для повышения стабильности работы помещен в термостат, который поддерживает постоянную температуру резонатора (обычно +70°С). Благодаря принятым мерам кварцевый резонатор обеспечивает суточную нестабильность частоты порядка $\pm 1\cdot 10^{-8}$. Стабильность частоты прибора может быть повышена подключением внешнего более стабильного генератора. Напряжение кварцевого генератора преобразуется в импульсы, которые подаются на делитель частоты. Он представляет собой набор декад, каждая из которых делит частоту кварцевого генератора на 10. Общий коэффициент деления равен 10^n (где n — целое число). Например, в электронно-счетном частотомере Ч3-28 применено восемь последовательно включенных декад, с которых снимаются импульсы с частотами следования 100, 10 и 1 кГц; 100; 10; 1; 0,1; 0,01; 0,001 Гц, что соответствует следованию меток времени с периодами 1, 10, 100 мкс, 1, 10, 100 мс, 1, 10 и 100 с. Метки времени подаются в управляющее устройство.

Управляющее устройство формирует управляющий импульс, длительность которого определяет время, в течение которого временной селектор находится в открытом состоянии. За это время через временной селектор в электронный счетчик проходят импульсы из формирующего устройства канала А.

Управляющее устройство формирует также импульс сброса электронного счетчика. Этот импульс подается на счетчик через линию задержки. Таким образом, временной селектор пропускает импульсы счета в строго калиброванные отрезки времени. Эти импульсы считываются электронным счетчиком и подаются в индикаторное устройство, которое высвечивает измеряемую частоту в цифровой форме. Сосчитанные импульсы с выхода электронного счетчика поступают также на цифровое печатающее устройство.

При измерении частоты измеряемый сигнал подают на вход канала А, а переключатель (см. рис. 4.1) ставят в положение f. Формирующее устройство преобразует измеряемый сигнал в последовательность импульсов с частотой следования, равной частоте измеряемого сигнала. Управляющее устройство формирует калиброванное время измерения $T_и$ с помощью импульса, поступающего на временной селектор. В течение длительности этого импульса временной селектор открыт и считает число N периодов измеряемой частоты $T_x=1/f_x$ сигнала за время $T_и$ с помощью цифрового счетчика: $N=T_и/T_x=T_и/f_x$, откуда $f_x=N/T_и$.

Например, если время измерения, определяемое длительностью управляющего импульса, $T_и=10^{-6}$ С и через временной селектор в течение этого времени проходят $N=10$ импульсов счета, то, очевидно, измеряемая частота $f_x=N/T_и=10$ МГц. При этом погрешность измерения частоты f_x определяется погрешностью управляющего устройства, стабильность которого определяется кварцевым генератором, и погрешностью дискретности, которая зависит от соотношения фаз управляющего импульса и импульса счета. Суммарная погрешность определяется как

$$\delta_f = \pm\delta_{к.г} \pm 1/N, \qquad (4.1)$$

где $\delta_{к.г}$ — частотная погрешность кварцевого генератора.

Из (4.1) следует, что чем выше измеряемая частота, тем меньше погрешность. Однако с повышением частоты должно увеличиваться быстродействие прибора, которое рассчитано на измерение частот до 100 МГц.

При измерении сигналов в полосе частот 100...1000 МГц применяют преобразователи частоты. В этом случае измеряемый сигнал и высокостабильный

сигнал опорной частоты подаются на смеситель, а сигнал разностной частоты с его выхода подается на схему измерения. Для получения непосредственного отсчета измеряемой частоты в счетное устройство прибора вводится соответствующая поправка на частоту опорного генератора.

На более высоких частотах (свыше 1 ГГц) применяют переносчики частоты.

На более низких частотах измеряют не частоту колебаний, а их период. Граничная частота может быть вычислена по формуле

$$f_{гр} = \sqrt{10^{n\,макс} f_{к.г\,max}/T_{и\,max}}\,. \tag{4.2}$$

Для получения меньшей погрешности следует измерять частоту f_x, если $f_x > f_{гр}$, и период, если $f_x < f_{гр}$.

При измерении периода колебаний (переключатель прибора находится в положении T) измеряемый сигнал поступает на вход канала Б (см. рис. 4.1). Формирующее устройство преобразует измеряемый сигнал в импульсы управляющего устройства. Таким образом, временной селектор открыт на время измеряемого периода. В течение этого времени на формирующее устройство канала А поступают калиброванные импульсы с генератора меток. Временной селектор пропускает импульсы счета генератора меток времени за измеряемый период T_x.

Если за время измеряемого периода T_x электронный счетчик сосчитает N импульсов генератора меток с периодом T_0, то $N = T_x/T_0 = T_x f_0$, где f_0 — частота кварцевого генератора, откуда

$$T_x = N/f_0. \tag{4.3}$$

Например, если $f_0 = 10^6$ Гц, $N = 10^4$, то $T_x = 0{,}01$ с, а $f_x = 100$ Гц.

Относительная погрешность измерения периода определяется теми же факторами, что и погрешность измерения частоты [см. (4.1)], но с учетом (4.3) она составит

$$\delta_T = \delta_{к.г} + 1/f_{к.г} T_x. \tag{4.4}$$

Это выражение подтверждает, что на низких частотах точнее можно измерить период, а на более высоких — частоту сигнала.

Основные технические данные некоторых электронно-счетных частотомеров типа Ч3 приведены в табл. 4.2 [18]. Кроме частотомеров, рассмотренных в этой таблице, интерес представляют автоматизированные приборы этого типа, которые рассматриваются ниже.

Частотомер электронно-счетный Ч3-47А. Автоматизированный универсальный прибор Ч3-47А предназначен для измерения частоты и периода синусоидальных и импульсных сигналов, интервалов времени. Прибор может работать в системах с дистанционным управлением и выдавать информацию в канал связи в последовательном или параллельном (прибор Ч3-47) коде. Прибором можно управлять с помощью цифровой вычислительной машины. К особенностям конструкции прибора относится объединение измерителя временных интервалов с цифровым вольтметром. Это значительно упрощает работу оператора при проведении измерений. Основные технические данные прибора Ч3-47А следующие: диапазон измерения частоты от 0 до 500 МГц, периода — от 0 до 10 МГц при напряжении входного измеряемого сигнала $10^{-4} \ldots 500$ В. Разрешающая способность равна 100 нс в режиме измерения одиночного интервала и 100 пс — в режиме измерения усредненного интервала времени. Относительная погрешность

$$\delta_f = \pm(\delta_{к.г} + 1/f_x t_{сч}).$$

где $f_{сч}$ — время счета, с.

Частотомер электронно-счетный Ч3-50. Этот прибор предназначен для прецизионных измерений частоты и периода, интервалов времени и т. д. Принцип работы прибора основан на высокой разрешающей способности (1 нс) длительности интервалов времени и обработке результатов измерения по внутренней или внешней программе. Высокая разрешающая способность прибора достигается благодаря использованию интерполяционных методов измере-

Таблица 4.2

Характеристика	Значение характеристики для частотомеров			
	ЧЗ-34	ЧЗ-12	ЧЗ-30	ЧЗ-35
Диапазон измерения частоты:				
синусоидальных сигналов	10 Гц ... ... 120 МГц	10 Гц ... ... 120 МГц	10 Гц ... ... 540 МГц	10 Гц ... ... 50 МГц
импульсных сигналов	10 Гц ... ... 5 МГц	10 Гц ... ... 120 МГц	10 Гц ... ... 80 МГц	10 Гц ... ... 5 МГц
Диапазон измерения длительности периодов, с:				
синусоидальных сигналов	10^{-5} ... 100	10^{-5} ... 0,1	10^{-5} ... 0,1	10^{-5} ... 100
импульсных сигналов	10^{-5} ... 100	10^{-5} ... 0,1	10^{-5} ... 100	—
Диапазон измерения отношения частот:				
синусоидальных сигналов	1 : 1 ... 10^9 : 1	1:1 ... 10^6:1	1 : 1 ... $5\cdot10^7$: 1	1:1 ... $5\cdot10^7$:1
импульсных сигналов	1 : 1 ... 10^9 : 1	—	1 : 1 ... $6\cdot10^7$: 1	—
Напряжение входного сигнала, В:				
синусоидального	0,1 ... 100	0,1 ... 100	0,1 ... 100	0,1 ... 100
импульсного	0,3 ... 100	0,3 ... 100	0,3 ... 100	—
Входное сопротивление, кОм	10 (по входу *А*) 5 (по входам *В* и *Г*) 0,05 (по входу *Б*)	50	Переносчика частоты — 0,05 Усилителя — 50 Канала интервала времени — 0,05	10
Входная емкость, пФ	70 (по входу *А*) 50 (по входам *В* и *Г*) 50 (по входу *Б*)	50	Переносчика частоты — 80 Усилителя — 50 Канала интервала времени — 80	80
Емкость счетчика	10^9 ... 1	10^8 ... 1	10^8 ... 1	—
Погрешность измерения частоты за 1 ч	$1\cdot10^{-8}\pm1$ единица счета	$3\cdot10^{-8}\pm1$ единица счета	$1\cdot10^{-8}\pm1$ единица счета	$1\cdot10^{-8}\pm1$ единица счета

ний. Работа счетно-решающего устройства основана на принципах микропрограммного управления. Основные технические данные прибора ЧЗ-50 таковы: диапазон измерения частоты от 0,01 Гц до 320 МГц при напряжении входных сигналов 50 мВ ... 100 В; диапазон измерения длительности импульсов положительной и отрицательной полярностей при напряжениях 0,3 ... 120 В равен 1 нс ... 100 с, при этом погрешность равна 1 нс. Время измерения составляет 1 мкс ... 10 с с множителем от 1 до 9. Разрешающая способность равна 1 нс. Быстродействие прибора может составлять 200 изм/с. Индикация результатов измерения равна $\pm(1\cdot10^{-15} \ldots 1\cdot10^{15})$. Относительная погрешность

$$\delta_f = \pm(\delta_{к.г} \pm 10^{-9}/t_{сч}).$$

4.4. ГЕТЕРОДИННЫЙ МЕТОД

Гетеродинный метод основан на сравнении измеряемой частоты с частотой или гармониками этой частоты интерполяционного генератора (гетеродина), откалиброванного по кварцевому калибратору.

В режиме грубой настройки на вход прибора (рис. 4.2) подают измеряемый сигнал с частотой f_x, который поступает на смеситель сигналов. Одновременно на смеситель поступают сигнал с

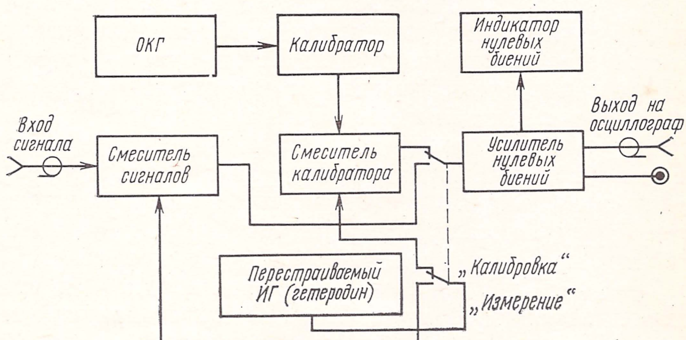


Рис. 4.2. Упрощенная структурная схема гетеродинного частотомера

частотой перестраиваемого интерполяционного генератора $f_{\text{и.г}}$ и гармоники этой частоты $nf_{\text{и.г}}$. На выходе смесителя сигналов получаются напряжения комбинационных частот. Интерполяционный генератор ИГ перестраивают переключателем грубой настройки до получения нулевых биений. Индикацию нулевых биений можно осуществлять стрелочным прибором, осциллографом или головными телефонами. После получения нулевых биений по шкале интерполяционного генератора ориентировочно определяют частоту или номер гармоники.

Таким образом, погрешность измерений частоты гетеродинным методом складывается из погрешности интерполяционного генератора (его нестабильности частоты и непостоянства градуировочной характеристики), погрешности сравнения и погрешности фиксации нулевых биений.

Для уменьшения погрешности интерполяционного генератора применяют внутренний калибратор, состоящий из опорного кварцевого генератора ОКГ, калибратора и смесителя калибратора. В режиме точной настройки прибора переключатель (рис. 4.2) ставят в положение «Калибровка». В это время смеситель сигналов, отключается, а на смеситель калибратора с опорного кварцевого генератора поступает сетка кварцованных частотных меток $f_{\text{к.г}}$ с равными амплитудами во всей полосе перестройки интерполяционного генератора. Одновременно с метками на смеситель калибратора поступает сигнал интерполяционного генерато-

ра с частотой, полученной в режиме грубого измерения. По нулевым биениям частот $f_{и.г}$ и $f_{к.г}$ производят «привязку» оцифрованных шкал грубой и точной настройки интерполяционного генератора к частотным меткам опорного кварцевого генератора. После этого отключают калибратор (переключатель ставят в положение «Измерение»), измеряемый сигнал f_x и сигнал интерполяционного генератора $f_{и.г}$ поступают на смеситель сигналов и дальше на схему индикации. Шкалу точной настройки интерполяционного генератора прибора подстраивают до получения нулевых биений частот f_x и $f_{и.г}$. Измеряемую частоту f_x определяют суммированием показаний шкал грубой и точной настройки интерполяционного генератора в точке нулевых биений с измеряемой частотой, умноженной на определенный ранее номер гармоники.

Индикацию нулевых биений с помощью осциллографа производят по фигурам Лиссажу или методом пунктирного круга. В первом случае при выключенном внутреннем генераторе развертки осциллографа, изменяя частоту интерполяционного генератора, получают фигуру Лиссажу. Эта фигура будет неподвижной при равенстве или кратности измеряемой f_x и эталонной $f_{и.г}$ частот, т. е. при $f_x=f_{и.г}$, $nf_x=f_{и.г}$ и $f_x=nf_{и.г}$. Если ни одно из этих условий не выполняется, то фигура Лиссажу будет вращаться на экране. Скорость ее вращения будет определяться разницей частот f_x и $f_{и.г}$. При этом период биений $T_б=1/f_б$. Например, при $T_б=2$ с, $f_б=0{,}5$ Гц. Форма фигуры Лиссажу зависит от соотношений между эталонной и измеряемой частотами и их гармоник. Она также зависит от амплитуд напряжений и соотношения фаз колебаний этих частот. Наиболее типичные фигуры Лиссажу при различных соотношениях частот f_x и $f_{и.г}$ и фазовых сдвигах, равных нулю, показаны на рис. 4.3.

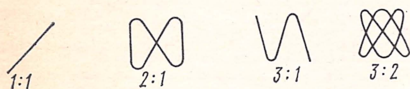


Рис. 4.3. Наиболее типичные фигуры Лиссажу

Индикацию методом пунктирного круга получают следующим образом. Напряжение эталонной частоты $f_{и.г}$ подают через фазорасщепляющую цепочку на входы X и Y осциллографа со сдвигом 90°, благодаря чему на экране получают круговую или эллиптическую развертку. Время оборота одной фигуры равно периоду эталонной частоты. Напряжение измеряемой частоты f_x подают на вход Z осциллографа. При равенстве частот $f_{и.г}=f_x$ одна половина окружности на экране будет черной, а другая — светлой (рис. 4.4*а*). Если $f_x>f_{и.г}$, то на окружности появятся темные и светлые участки, число которых будет соответствовать кратности частот f_x и $f_{и.г}$, т. е. $n=f_x/f_{и.г}$, откуда $f_x=nf_{и.г}$ (рис. 4.4*б*). Очевидно, что на рис. 4.4*а* $n=f_x/f_{и.г}=1$, а на рис. 4.4*б* $n=8$.

Индикация с помощью головных телефонов (см. рис. 4.2) уступает по точности рассмотренным осциллографическим методам. Основная ошибка получается из-за того, что ухо оператора не

реагирует на частоты ниже 20 ... 16 Гц. Абсолютная ошибка в этом случае составляет 40 ... 36 Гц, что для многих измерений недопустимо. Для уменьшения погрешности применяют метод среднеарифметического отсчета. Частоту интерполяционного генератора в этом случае увеличивают, если $f_x > f_{и.г}$, и уменьшают, если

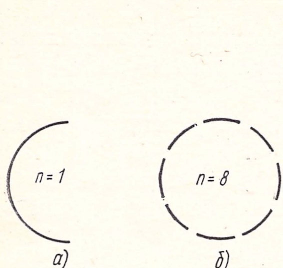


Рис. 4. 4. Форма сигнала при измерении методом пунктирного круга

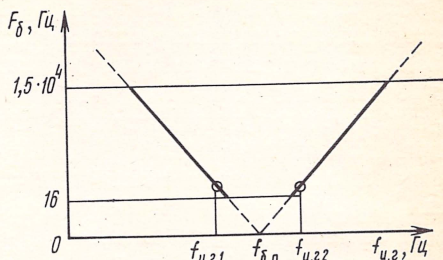


Рис. 4.5. К методу определения частоты нулевых биений с помощью головных телефонов

$f_x < f_{и.г}$. Соотношение f_x и $f_{и.г}$ легко определить на слух, учитывая, что частота биений повышается с увеличением разницы между частотами f_x и $f_{и.г}$. До зоны нулевых биений (на рис. 4.5 неслышимые биения показаны пунктиром) запоминают тон биений и фиксируют частоту $f_{и.г1}$. После перехода зоны нулевых биений устанавливают такой же тон, что и при первом измерении на частоте $f_{и.г1}$, и фиксируют частоту $f_{и.г2}$. Частоту нулевых биений определяют как среднеквадратичное значение частот $f_{и.г1}$ и $f_{и.г2}$: $f_{б0} = (f_{и.г1} + f_{и.г2})/2$.

Погрешность этого метода тем меньше, чем точнее определен тон генератора при измерении $f_{и.г1}$ и $f_{и.г2}$.

Таблица 4.3

Характеристика	Значение характеристики для частотомеров			
	Ч4-9	Ч4-5	Ч4-8 А	Ч4-25
Диапазон измеряемых частот, ГГц	$(2-4)\cdot10^{-2}$ (на гармониках — до 1 ГГц)	2,5...18	12,4...30	37,5...78,3
Основная погрешность измерения частоты	$\pm5\cdot10^{-6}$	$\pm5\cdot10^{-5}$	$\pm5\cdot10^{-5}$	$\pm5\cdot10^{-5}$
Относительная погрешность опорных частот	$\pm10^{-6}$	$\pm5\cdot10^{-6}$	$\pm10^{-5}$	—
Чувствительность, мкВт	$5\cdot10^{-4}$	100	10	10
Рабочие условия: температура, °С	—10...+40	—10...+35	—10...+35	—10...+35
влажность, %	90 (при —25° С)	80 (при —20° С)	80 (при 20° С)	80 (при 20° С)
Потребляемая мощность, В·А	155	200	—	—

Таким образом, благодаря принятым мерам повышения точности отсчета частоты интерполяционного генератора с помощью внутренней калибровки прибора, с учетом возможности точной фиксации частоты нулевых биений измеряемой частоты f_x и интерполяционного генератора, гетеродинный метод измерения частоты обладает высокой точностью. Хотя этот метод применяют в основном для измерения частоты высокочастотных синусоидальных сигналов, но с использованием осциллографа для индикации нулевых биений им можно с достаточной точностью измерять частоту импульсно-модулированных сигналов. Погрешность измерений при этом понижается.

Гетеродинный метод измерения частоты реализован в гетеродинных частотомерах Ч4, основные технические характеристики которых приведены в табл. 4.3.

4.5. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ИЗЛУЧЕНИЙ

Практический интерес представляют методы измерения номиналов рабочих частот передающих устройств многоканальных излучений, излучений на одной боковой частоте, частотно-модулированных излучений и т. д. Сложность проведения таких измерений обусловливается отсутствием несущей частоты, а также тем, что измерения часто приходится проводить при передаче действительных сообщений.

Измерение номиналов частот передатчиков радиосвязи диапазона декаметровых волн с излучениями классов А3, F1 и F6 проводят с помощью измерительной установки, состоящей из супергетеродинного приемника Пр, генератора эталонных частот ГЭЧ, генератора гармоник ГГ, блока пересчета, измерителя разноса частот с осциллографом и двухтрубчатого осциллографа (рис. 4.6).

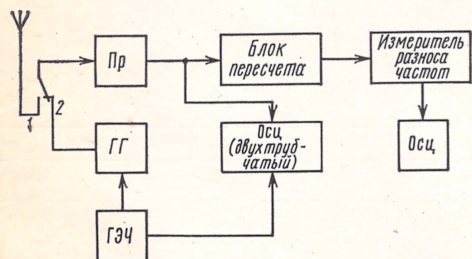


Рис. 4.6. Структурная схема установки для измерения частоты передатчиков с излучением классов А3, F1, F6

В качестве приемника применяется связной приемник, перекрывающий измеряемую полосу частот, с двойным преобразованием принимаемой частоты (например, Р-250М).

Генератор эталонных частот (стандарт частоты) необходим для получения напряжения высокостабильной частоты 0,5; 10 и 100 кГц. В качестве генератора эталонных частот применяют стандарт частоты Ч1-5 или другой аналогичный прибор, обеспечивающий заданную (см. § 4.2) для измерения стабильность частоты.

Генератор гармоник преобразует высокостабильный синусоидальный сигнал частотой 10 или 100 кГц, поступающий из генератора эталонных частот, в последовательность импульсов прямоугольной формы с частотой следования 10 кГц, из которой путем умножения получают сетку частот, кратную 10 кГц, во всем диапазоне частот приемника.

Принцип измерения заключается в следующем. Производят точную настройку приемника на номинал измеряемой частоты. Для этого отключают антенну приемника (переключатель на рис. 4.6 ставят в положение *2*) и на вход приемника подают с генератора гармоник сетку частот, кратную 10 кГц. Для того чтобы приемник был настроен на середину полосы обзора измерителя разноса частот, середину шкалы третьего гетеродина приемника совмещают с визиром (для Р-250 М частота третьего гетеродина может изменяться в пределах ±5 кГц). Этот сдвиг частоты необходим также для измерения частот, кратных 10 кГц. Путем плавного изменения частоты приемника с помощью ручки второго гетеродина можно получить все частоты от 0 до 10 кГц. Выход приемника подключен к вертикальным пластинам осциллографа. На горизонтальные пластины со стандарта частоты подают эталонную частоту 0,5 кГц. По фигурам Лиссажу или методом пунктирного круга (см. предыдущий параграф) производят точную настройку приемника на номинал измеряемой частоты.

После точной настройки приемника на измеряемую частоту переключатель прибора ставят в положение *1*. При этом на вход приемника подается сигнал измеряемой частоты передатчика. При точном совпадении частоты передатчика с частотой настройки приемника отметки на шкале осциллографа измерителя разноса частот при измерении сигналов А3 и в режиме несущей частоты передатчика устанавливаются на 5,5 кГц, при измерении излучений F1 с разносом 1 000 Гц — на 5 и 6 кГц, при измерении F6— на 4, 5, 6 и 7 кГц. Для измерения сигналов F1 и F6 с другими разносами частот переключатель на блоке пересчета частот устанавливают в соответствующее положение (400 или 500 Гц), при этом отметки на осциллографе измерителя разноса частот будут соответствовать прежним значениям.

Если измеряемая частота передатчика не совпадает с частотой, на которую настроен приемник, то по шкале осциллографа измерителя разноса частот определяют отклонение частоты передатчика.

Абсолютная погрешность измерения этим методом складывается из погрешности настройки приемника на измеряемую частоту и погрешности сравнения измеряемой частоты с частотой приемника. При этом погрешность сравнения частот с помощью осциллографа незначительна. Погрешность настройки приемника на номинал измеряемой частоты определяется в основном погрешностями генератора гармоник и стандарта частоты. Погрешность стандарта частоты указана в техническом описании на прибор. Точность работы генератора гармоник проверяют методом пунк-

тирного круга по осциллографу, на входы которого подают эталонную частоту 10 кГц от стандарта частоты и сетку частот с выхода генератора гармоник. Этот метод рассмотрен в предыдущем параграфе.

Метод измерения частоты передающего устройства с излучением на одной боковой полосе с подавленной несущей A3J основан на особенности спектра гласных звуков речи. Он состоит из основной частоты источника (или частоты тона) и ее гармоник. Когда гетеродин демодулятора приемника настроен на частоту подавленной несущей принимаемой боковой полосы, сигнал демодулируется и гармоническая структура спектра полностью восстанавливается.

Установка для измерения частоты передатчиков с излучением A3J (рис. 4.7) состоит из приемника, двух полосовых фильтров F_1 и F_2, осциллографа и частотомера. Частоты полосовых фильтров выбираются так, чтобы вокруг них концентрировалась основная часть речевого спектра. Если n-я и m-я гармоники основной частоты спектра проходят через фильтры F_1 и F_2 соответственно, то при совпадении частоты гетеродина приемника с подавленной несущей выполняется равенство $fn/fm=n/m$, где fn и fm — гармоники основной частоты речевого сигнала. Разность фаз гармоник постоянна, о чем свидетельствуют фигуры Лиссажу на экране осциллографа.

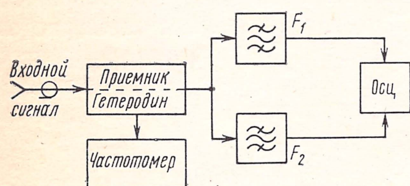


Рис. 4.7. Установка для измерения частоты передатчиков с излучением A3J

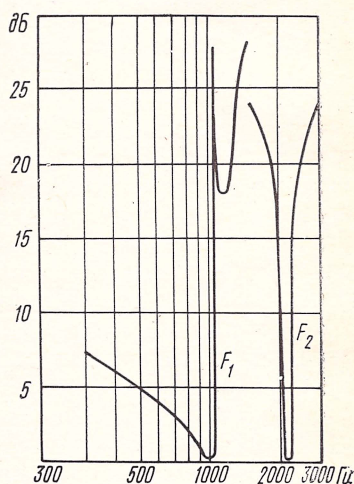


Рис. 4.8. Характеристики полосовых фильтров F_1 и F_2

фа. Характеристики полосовых фильтров F_1 и F_2 приведены на рис. 4.8. По оси абсцисс отложено затухание фильтров в децибелах, по оси ординат — частота в герцах.

При измерении частоты сигнала A3J сначала устанавливают гетеродином приемника оптимальную речевую артикуляцию. Частота гетеродина при этом будет отличаться не более чем на 30 Гц от подавленной несущей. После появления фигур Лиссажу на экране осциллографа гетеродин приемника подстраивают для получения лучшего соотношения $fn/fm=n/m$. Частоту гетеродина приемника, которая будет в этом случае равна подавленной несущей,

измеряют с помощью частотомера. Точность измерения этим методом составляет ±4 Гц.

Измерения частоты передатчиков с излучением *F*3 проводят, как правило, в периоды отсутствия модуляции, т. е. измеряют несущую частоту излучения одним из рассмотренных выше методов. Однако это не всегда возможно, особенно на контрольных станциях, которые измеряют частоты передатчиков, излучающие сигналы действительных сообщений. При модуляции передатчика его частоту принято измерять методом средней частоты с помощью цифрового частотомера. Этот метод измерений приемлем в тех случаях, когда продолжительность времени счета частоты значительно больше периода самой низкой частоты модуляции. Большая нестабильность частоты передатчика может привести к такому сдвигу средней несущей частоты передатчика, что частота, вычисленная с помощью частотомера, будет несколько отличаться от значения немодулированной несущей.

Глава пятая

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Антенна радиоэлектронного средства служит для излучения электромагнитной энергии передатчика в пространство и приема электромагнитной энергии, которую излучает другой источник. Одна и та же антенна может применяться как для передачи, так и для приема электромагнитной энергии.

В зависимости от *конструкции* все антенны делятся на *ненаправленные и направленные.* Типичной ненаправленной антенной является изотропный точечный излучатель в вакууме, который излучает электромагнитную энергию во все стороны с одинаковой эффективностью.

Электромагнитное поле, излучаемое реальными антеннами, является векторной суммой полей, излученных элементарными составляющими токонесущих элементов антенны. Фазы токов изменяются по плоскости раскрыва антенны[1]. Поэтому наведенные током поля в одном направлении будут складываться, а в другом — вычитаться. Следствием взаимодействия нескольких полей, образованных элементарными частями антенны, является направленность антенны, т. е. способность излучать электромагнитную энергию не во всех, а в одном или нескольких направлениях.

Кроме того, на направленность излучения антенны оказывает существенное влияние земля.

Одним из первичных параметров антенны является амплитудная характеристика направленности, определяемая зависимостью

[1] Плоскость раскрыва антенны — поверхность выходного отверстия излучающей системы антенны с эквивалентным распределением магнитных токов.

амплитуды напряженности поля, создаваемого антенной, или другой пропорциональной величины (например, плотности потока мощности) от направления в пространстве.

Графическое изображение характеристики направленности излучения антенны называют *диаграммой* ее *направленности*.

Пространственная диаграмма направленности изображается диаграммами в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Одна из них характеризует направленность антенны в горизонтальной плоскости $f(\varphi)$, другая — в вертикальной $f(\theta)$. Обе плоскости проходят через точку излучения и совпадают с его максимумами.

Пространственную диаграмму направленности, максимальное значение которой равно единице, называют *нормированной диаграммой направленности* и обозначают $F(\varphi, \theta)$, где φ — азимутальный, а θ — меридиональный угол.

Для удобства изображения диаграмму направленности строят в какой-нибудь одной плоскости. На рис. 5.1 приведен пример построения диаграммы направленности в горизонтальной плоскости. На рис. 5.1*а* диаграмма направленности $F(\varphi)$ изображена в полярной системе координат, на рис. 5.1*б* — в декартовой системе координат, а на рис. 5.1*в* — в логарифмическом масштабе этой же системы координат.

Диаграмму направленности антенны характеризуют углом $2\varphi_{0,5}$ — *шириной направленности по половинной мощности*, углом $2\varphi_0$ — *шириной главного лепестка направленности* по нулевому уровню и мощностью боковых и заднего лепестков.

Под шириной направленности $2\varphi_{0,5}$ подразумевают угол между направлениями, вдоль которых напряженность поля уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с напряженностью поля в направлении максимума излучения (см. рис. 5.1*а*—*в*), а поток мощности соответственно уменьшается вдвое. Под шириной $2\varphi_0$ подразумевают угол между направлениями, ближайшими к направлению максимума излучения, вдоль которых напряженность поля равна нулю (см. рис. 5.1*а*—*в*).

Уровень мощности боковых (заднего) лепестков относят ко вторичным параметрам антенн. Он характеризует отношение максимума данного бокового (заднего) лепестка к главному максимуму направленности антенны в линейном (см. рис. 5.1*б*) или логарифмическом (см. рис. 5.1*в*) масштабах.

Для оценки направленных свойств антенн введен *коэффициент направленного действия (КНД)* D. Он показывает, во сколько раз пришлось бы увеличить мощность излучения передающей антенны при переходе от направленной к ненаправленной антенне при условии сохранения одинаковой напряженности поля в месте приема при всех других равных условиях:

$$D = P_{\Sigma 0}/P_{\Sigma}, \tag{5.1}$$

$P_{\Sigma 0}$ — мощность излучения ненаправленной антенны; P_{Σ} — мощность излучения направленной антенны.

Другими словами, КНД характеризует концентрацию излучаемой мощности в данном направлении:

$$D_{max} = \Pi_{max}/\Pi_{\text{ср}}, \tag{5.2}$$

где D_{max} — КНД в направлении максимального излучения.

Рис. 5.1. Диаграммы направленности антенны: *а* — в полярной системе координат; *б* — в декартовой системе координат; *в* — в логарифмическом масштабе

Эта формула была выведена советским ученым А. А. Пистолькорсом в 1929 г. Она устанавливает отношение вектора Пойнтинга Π_{max} в данном направлении к среднему его значению $\Pi_{\text{ср}}$ на поверхности полной сферы, охватывающей антенну, при одинаковых расстояниях в обоих случаях.

Максимальное значение вектора Пойнтинга

$$\Pi_{max} = |E_{max}|^2/2w, \tag{5.3}$$

где $|E_{max}|$ — модуль полного вектора напряженности поля в направлении максимального излучения; w — сопротивление среды излучения, равное $\sqrt{\mu_0/\varepsilon_a}$.

Среднее значение определяется выражением

$$П_{ср} = P_\Sigma / 4\pi R^2, \tag{5.4}$$

где P_Σ — излучаемая мощность; R — расстояние до точки измерения.

С учетом (5.3) и (5.4) формула для расчета КНД имеет вид

$$D_{max} = |E_{max}|^2 \, 2\pi R^2 / w P_\Sigma; \tag{5.5}$$

для вакуума (формула И. С. Неймана)

$$D_{max} = |E_{max}|^2 R^2 / 60 P_\Sigma. \tag{5.6}$$

Аналогично (5.1) КНД приемной антенны определяют отношением мощности сигнала $P_н$, поступающего на вход приемника с данного направления, к мощности этого же сигнала $P_{ср}$, принимаемого на ненаправленную антенну, при условии, что напряженность поля в месте расположения этих антенн одинакова:

$$D_{пр} = P_н / P_{ср} = U_н^2 / U_{ср}^2, \tag{5.7}$$

где $D_{пр}$ — КНД приемной антенны; U — напряжение на входе приемника.

Направленные свойства антенн широко используются при решении задач электромагнитной совместимости. Эти ценные свойства антенн обусловливаются не только их конструкцией, но и качеством исполнения, условиями эксплуатации и другими факторами.

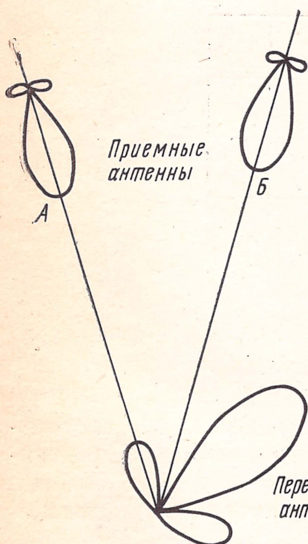


Рис. 5.2. Радиопомехи, создаваемые направленными антеннами

Рисунок 5.2 иллюстрирует возникновение радиопомех в зависимости от направлений приема и передачи, которые формируются диаграммами направленности приемной и передающей антенн и их боковыми лепестками.

Как видно из рис. 5.2 диаграмма направленности передающей антенны в главном направлении не совпадает с диаграммами приемных антенн *А* и *Б*. Однако направление приема антенны *А* совпадает с направлением излучения первого бокового лепестка. При совпадении частот передачи и приема в этом случае могут возникнуть радиопомехи. Антенна *Б* расположена благоприятно с точки зрения снижения радиопомех от этого же передатчика.

5.2. ПРИНЦИП НОРМИРОВАНИЯ БОКОВЫХ И ЗАДНЕГО ЛЕПЕСТКОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ АНТЕНН

Одним из направлений борьбы с радиопомехами является снижение уровня мощности в боковых лепестках диаграммы направленности антенны. Обычно эти уровни рассчитываются с достаточной точностью. Но в ряде случаев в условиях эксплуатации расчетные значения не соответствуют действительным. Для контроля уровней излучения передающих антенн, используемых в радиосвязи и радиовещании диапазона декаметровых волн, установлены нормы [19] на уровни излучения боковых и заднего лепестков диаграмм направленности в горизонтальной $f(\varphi)$ плоскости этих антенн. В нормах приведены относительные уровни излучения 1, 2, 3 и 4-го боковых лепестков $E_б/E_{max}$, а также относительный уровень излучения заднего лепестка $E_з/E_{max}$.

Нормы [19] представлены в виде графиков зависимости относительных уровней излучения $E_б/E_{max}$ и $E_з/E_{max}$ от отношения рабочей длины волны λ к оптимальной λ_0 для рабочего диапазона волн ромбических и синфазных антенн. Часть графиков для иллюстрации приведена на рис. 5.3—5.6. Для ромбических антенн

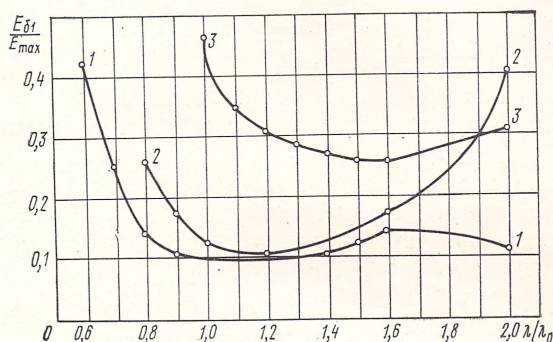


Рис. 5.3. Нормы на уровень излучения первого бокового лепестка диаграммы направленности антенны типа РГД $\frac{65}{4}$ 1 в горизонтальной плоскости

(см. рис. 5.3, 5.4) нормы на уровни боковых лепестков диаграммы направленности приведены для разных углов возвышения θ (на рис. 5.3—5.5 кривая *1* соответствует $\theta=0$, *2*—$\theta=10°$, *3*—$\theta=20°$). Для синфазных антенн нормы установлены для угла возвышения $\theta=0$, но эти нормы распространяются и на другие углы возвышения.

Необходимо отметить, что предусмотренные нормами отношения $E_б/E_{max}$ и $E_з/E_{max}$ в 1,2 ... 1,3 раза превышают значения, рассчитанные по напряженности поля. Этот допуск сделан с учетом различия рельефа местности и разброса параметров, характеризующих проводящие свойства почвы антенного поля. В тех слу-

чаях, когда расчетные уровни близки к нулю, за норму принят уровень, равный $0{,}1E_{max}$. Нормы распространяются на ромбические и синфазные антенны, имеющие любую высоту подвеса.

Измерение диаграмм направленности антенн проводят в дальней зоне излучения передающего устройства. Расстояние от измеряемой антенны до измерительной должно удовлетворять отношению (2.10) $R \geqslant 2D^2/\lambda$ для остронаправленных и (2.11) $R \geqslant 3\lambda$ для слабонаправленных антенн. Поскольку такое расстояние для передатчиков, использующих диапазоны гектометровых и километровых волн, составляет не более одного километра, а излучаемая мощность может достигать сотен и даже тысяч киловатт, создаваемая этими передатчиками напряженность поля в пункте измерения достигает единиц вольт на метр. Поэтому методы измерения напряженности поля и измерительные приборы, которые были рассмотрены в гл. 3, не всегда применимы для измерения диаграмм направленности антенн. Измерительные приборы, применяемые для этой цели, отличаются широким нормированным динамическим диапазоном, что достигается включением в их схему аттенюаторов для регулировки усиления измеряемых сигналов по высокой и промежуточной час-

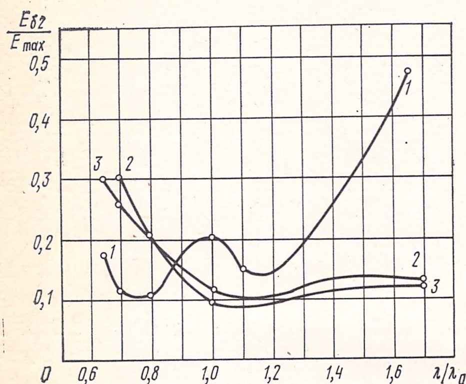


Рис. 5.4. Нормы на уровень излучения второго бокового лепестка диаграммы направленности антенны типа $\frac{65}{2,8}$ 0,6 в горизонтальной плоскости

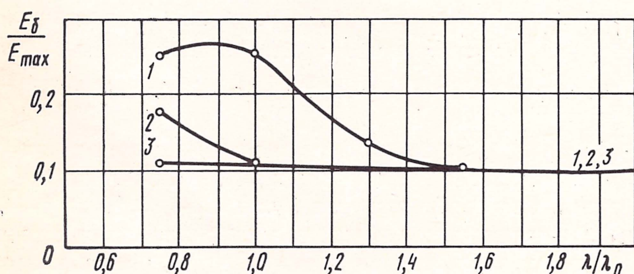


Рис. 5.5. Нормы на уровень излучения боковых лепестков диаграмм направленности антенн типов СГД $\frac{4}{4}$ $P_а$ и СГД $\frac{4}{4} P_н$ в горизонтальной плоскости

тотам. В некоторых случаях применяют простые индикаторы напряженности поля, резонансные индикаторы излучения, компараторы и т. д.

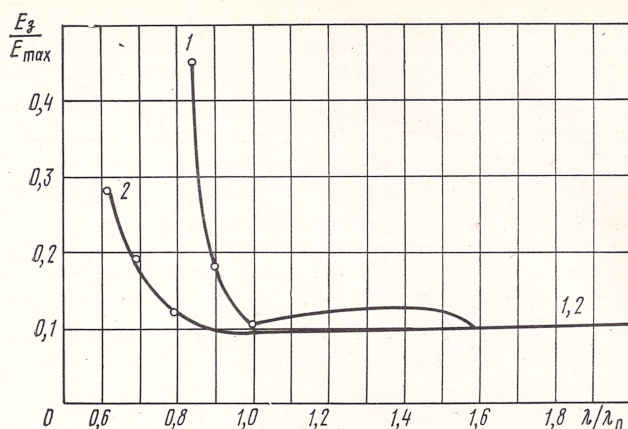


Рис. 5.6. Нормы на уровень излучения задних лепестков диаграмм направленности антенн типов СГД $P_а$ (*1*) и СГД $P_н$ (*2*) в горизонтальной плоскости

5.3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Индикатор напряженности поля (измеритель больших полей). Прибор состоит из эталонной антенны и вольтметра (рис. 5.7). Действие прибора основано на определении напряженности поля путем измерения ЭДС на клеммах эталонной антенны. В качестве эталонной антенны в диапазонах километровых и гектометровых волн применяют прямоугольную рамку со стороной не более $\lambda/12$, где λ — длина измеряемой волны, м. Обычно выбирают рамку со стороной, равной 1 м. В этом случае площадь рамочной антенны $S=1$ м². Число витков N в рамке зависит от измеряемой длины волны.

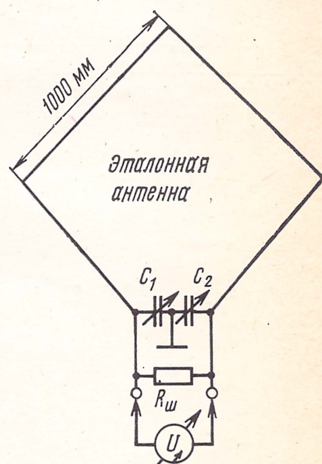


Рис. 5.7. Принципиальная схема индикатора напряженности поля

В приборе (рис. 5.7) применяется настроенная рамочная антенна, действующая длина которой

$$h_{д.н} = h_д/Q_н, \quad (5.8)$$

где $h_д$ — действующая высота ненастроенной антенны $h_д=2\pi SN/\lambda$; $Q_н$ — добротность нагруженной антенны $Q_н=R_в R_ш/X(R_в-R_ш)$, где $R_в$ — сопротивление вольтметра, Ом; $R_ш$ — шунтирующее сопротивление, Ом; X — реактивное сопротивление рамки.

Реактивное сопротивление рамки X можно рассчитать по значению одного из элементов контура по формуле $X=1880L/\lambda=530\lambda/C$, где L — индуктивность рамки, мкГ; C — емкость конденсатора, пФ.

Напряженность поля E в пункте измерения определяется по значению измеренной на клеммах рамки ЭДС

$$E = E_р/h_{д.н}. \quad (5.9)$$

В схеме прибора на рис. 5.7 применяют симметричный сдвоенный конденсатор, имеющий наибольшую емкость порядка 500 пФ. Конденсатором настраивают рамку в резонанс с измеряемой частотой. Шунтирующее сопротивление $R_ш$ служит для уменьшения влияния окружающих предметов на добротность рамки Q, его величина составляет 2 ... 5 кОм. В качестве измерительного прибора применяют высокочастотный вольтметр. Чувствительность вольтметра подбирают в соответствии с измеряемой величиной напряженности поля. Калибруют вольтметр с помощью генератора сигналов и милливольтметра непосредственно в вольтах на метр.

Резонансный индикатор излучения. Прибор предназначен для измерения напряженности поля, создаваемого передатчиками мощностью свыше 20 кВт. Структурная схема прибора приведена на рис. 5.8.

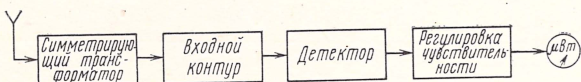


Рис. 5.8. Структурная схема резонансного индикатора излучения

Измеряемый сигнал из антенны через высокочастотный трансформатор поступает на измерительный приемник прямого усиления, который включает в себя входной контур, детектор и устройство регулировки чувствительности прибора.

Входной контур собран по симметричной схеме. С помощью сдвоенного конденсатора переменной емкости он настраивается на частоту измеряемого сигнала. Дальше измеряемый сигнал детектируется и выпрямленное напряжение, пройдя цепи регулировки чувствительности прибора, измеряется вольтметром. Детектор собран по двухполупериодной схеме на полупроводниковых диодах. Органы регулировки позволяют изменять чувствительность прибора.

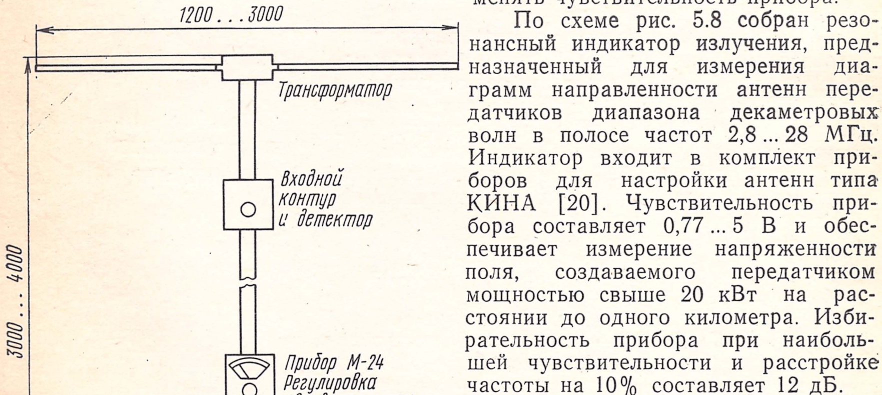


Рис. 5.9. Резонансный индикатор излучения

По схеме рис. 5.8 собран резонансный индикатор излучения, предназначенный для измерения диаграмм направленности антенн передатчиков диапазона декаметровых волн в полосе частот 2,8 ... 28 МГц. Индикатор входит в комплект приборов для настройки антенн типа КИНА [20]. Чувствительность прибора составляет 0,77 ... 5 В и обеспечивает измерение напряженности поля, создаваемого передатчиком мощностью свыше 20 кВт на расстоянии до одного километра. Избирательность прибора при наибольшей чувствительности и расстройке частоты на 10% составляет 12 дБ.

Антенной прибора служит симметричный вибратор, установленный на штанге (рис. 5.9). Вверху помещен симметрирующий высокочастотный трансформатор, ниже, в отдельном корпусе, симметричный контур и детектор. В средней части штанги крепится блок, в который входят прибор М-24 и элементы регулировки чувствительности прибора.

К о м п а р а т о р. Измерители напряженности поля, принцип работы которых основан на методе сравнения калиброванной ЭДС с ЭДС, наведенной полем в антенне измерительной установки, называют компараторами.

Структурная схема компаратора приведена на рис. 5.10. Прибор состоит из антенного контура, измерительного приемника и калибровочного генератора.

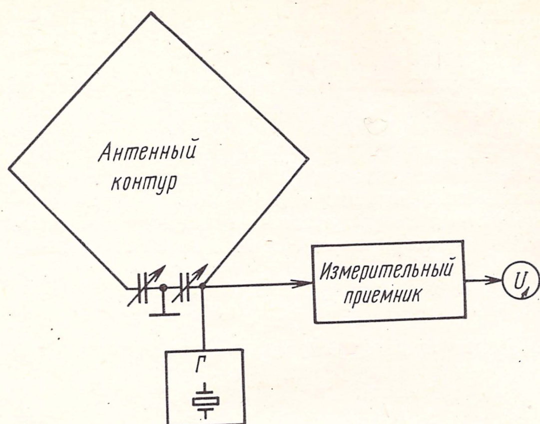


Рис. 5.10. Структурная схема компаратора

Антенный контур представляет собой рамочную антенну, настраиваемую в резонанс с частотой измеряемого сигнала с помощью сдвоенного конденсатора переменной емкости.

Измерительный приемник (рис. 5.11) собран по супергетеродинной схеме. Измеряемый сигнал поступает из антенного контура на смеситель. Этим достигается постоянство усиления приемника во всем рабочем диапазоне частот, что позволяет калибровать усиление измерительного приемника на одной фиксированной частоте. Приемник имеет калиброванное усиление по промежуточной частоте. Выходное напряжение сигнала измеряется высокочастотным вольтметром.

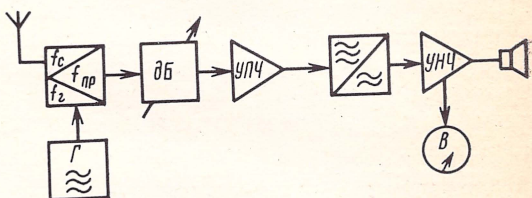


Рис. 5.11. Структурная схема измерительного приемника компаратора

Калибровочный генератор Г служит для подачи в рамочную антенну калиброванного напряжения, по величине которого методом сравнения определяют ЭДС, наведенную в антенне измеряемым полем. Калибровочный генератор может иметь с антенным контуром индуктивную связь, а также подключаться к нему последовательно или параллельно. На рис. 5.10 показано параллельное подключение калибровочного генератора к антенному контуру и входу измерительного приемника.

Калибровку усиления измерительного приемника производят следующим методом (см. рис. 5.11). На вход приемника подают известной величины калибровочное напряжение $U_г$. Усиление приемника регулируют так, чтобы стрелка выходного прибора при заданном ослаблении аттенюатора $A_г$ установилась на красной риске шкалы прибора. Таким образом ее отклонение при данном усиле-

нии измерительного приемника K_0 равно $\alpha_г$. При этом напряжение на выходе приемника

$$U_{вых.г} = U_г K_0 / A_г. \quad (5.10)$$

На этом калибровка заканчивается. Калибровочный генератор выключают и принимают измеряемый сигнал, который создает на входе измерительного приемника напряжение

$$U_{вх} = E h_д Q/2. \quad (5.11)$$

Напряжение на выходе приемника U_x, которому будет соответствовать показание выходного прибора α_x, с учетом (5.11)

$$U_x = (E h_д Q/2)(K_x/A_x), \quad (5.12)$$

где A_x — ослабление аттенюатора при измерении сигнала; K_x — усиление приемника при измерении сигнала.

Если принять отношение усиления измерительного приемника при калибровке K_0 к усилению при измерении сигнала K_x за a, то (5.12) принимает вид

$$U_x = \frac{E h_д Q}{2} \frac{K_0}{A_x} \frac{1}{a}. \quad (5.13)$$

Из (5.13) и (5.10) следует пропорциональная зависимость

$$U_x / U_{вых.г} = \alpha_x / \alpha_г = E h_д Q A_г / 2a A_x U_г,$$

откуда следует

$$E = \frac{2a U_г \alpha_x A_х}{\alpha_г A_г h_д Q}. \quad (5.14)$$

Шкала выходного прибора градуируется в микровольтах выходного напряжения при ослаблении аттенюатора $A_г = 1$. Тогда напряжение $U_г$, подаваемое на вход приемника, будет равно $U_г = \alpha_г + A_г$, а формула (5.14) принимает вид

$$E = 2a \alpha_x A_x / h_д Q. \quad (5.14а)$$

Для упрощения расчетов напряженности поля по (5.14а) компараторы имеют расчетные таблицы или графики вида $K = 2a/h_д Q$, где K — пересчетный множитель функции частоты прибора. Тогда напряженность поля

$$E = K \alpha_x A_х. \quad (5.15)$$

Установка для измерения диаграммы направленности антенн с помощью летательных аппаратов. Измерительная установка (рис. 5.12) состоит из экранированной рамочной антенны, супергетеродинного измерительного приемника, усилителя постоянного тока с выходным прибором и фотописца.

Устройство экранированной рамочной антенны рассмотрено в § 3.2. Рамочная антенна крепится к борту летательного аппарата, обращенному при облете к измеряемой антенне, с учетом ее поля-

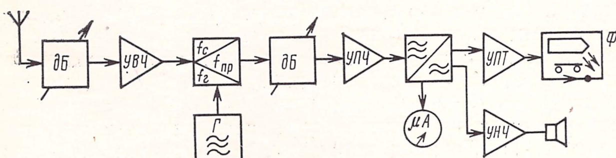


Рис. 5.12. Структурная схема измерительной установки, применяемой на летательных аппаратах

ризации. При горизонтальной поляризации измеряемой антенны рамочная антенна должна размещаться в горизонтальной плоскости. Рамочная антенна с помощью коаксиального кабеля подключается к симметрирующему трансформатору, который соединен со входом измерительного приемника.

Одной из особенностей супергетеродинной схемы измерительного приемника рис. 5.12. является включение в тракты усиления высокой и промежуточной частот аттенюаторов, с помощью которых расширяется динамический диапазон усиления приемника.

Измеряемый сигнал с выхода второго детектора усиливается по низкой частоте и поступает на динамик, который дает возможность контролировать настройку приемника на измеряемый сигнал. Кроме того, измеряемый сигнал со второго детектора подается также на усилитель постоянного тока. Усилитель постоянного тока обеспечивает необходимое усиление измеряемого сигнала, который через выходной прибор подается на фотописец Ф. Фотописец служит для фиксации уровней сигнала на фотоленте с помощью световых меток.

Перед проведением измерений весь усилительный тракт установки градуируется по генератору сигналов при всех положениях аттенюаторов и на всех измеряемых частотах. Регулировку фотописца производят по техническому описанию на прибор.

5.4. ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Как указывалось в § 5.2, измерение диаграммы направленности антенн проводят на сравнительно небольших расстояниях от центра антенны. В зависимости от мощности передающего устройства напряженность поля в местах измерений может достигать значительных величин, до 5 ... 10 В/м. Поэтому при выборе приборов для измерения диаграммы направленности антенн необходимо учитывать как перекрываемую прибором полосу измере-

Таблица 5.1

Класс прибора	Диапазон частот	Пределы измерений
Измеритель напряженности поля П3	255 ... 1000 МГц	$120 \ldots 53 \cdot 10^3$ мкВ/м
Измеритель плотности потока мощности П3	150 кГц ... 16,7 ГГц	$7 \cdot 10^{-5} \ldots 30$ мВт/см^2
Измеритель радиопомех П4	150 кГц ... 300 МГц	$10 \ldots 10^5$ мкВ/м
Измерительный приемник П5	18 МГц ... 16,7 ГГц	$0,5 \ldots 10^5$ мкВ/м
Компаратор	12 кГц ... 25 МГц	$1 \ldots 10^4$ мкВ/м
Резонансный индикатор излучения	2,8 ... 28 МГц	0,7 ... 5 В/м
Индикатор напряженности поля	150 ... 1500 кГц	0,1 ... 10 В/м

мых частот, так и допускаемые пределы измерения прибора. В табл. 5.1 приведены эти два основных параметра измерительных приборов.

Максимальную напряженность поля рассчитывают по формуле

$$E = 0{,}3\sqrt{P}/R, \qquad (5.16)$$

где E — напряженность поля, В/м; P — мощность передатчика, кВт; R — расстояние до центра антенны, км.

5.5. ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ НЕПОДВИЖНЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ АНТЕНН

Методы наземных измерений. Эти методы находят применение при измерении диаграмм направленности в горизонтальной плоскости антенн диапазонов километровых, гектаметровых и декаметровых волн. Измерение включает в себя следующие операции: выбор измерительного прибора; определение мест (точек) проведения измерений; проведение измерений на местности; обработку результатов измерений и построение диаграммы направленности антенны.

Прибор для измерения диаграммы направленности антенны выбирают с учетом технических характеристик, приведенных в § 2.5—2.7, 3.2 и 5.3, и рекомендаций, рассмотренных в § 5.4. Места (точки) проведения измерений определяются на топографической карте масштабом 1 : 25 000 или 1 : 50 000. Для этого с генплана антенного поля на топографическую карту переносят контуры и электрический фазовый центр измеряемой антенны. Точки для измерений выбирают по окружности, центр которой совпадает с центром измеряемой антенны, радиусом не менее $R \geqslant 2D^2/\lambda$. Здесь D — максимальный горизонтальный размер антенны (ширина полотна для синфазных антенн, большая диагональ для ромбических антенн и т. д.), λ — длина волны, на которой проводят измерение. В случае одиночных антенн-мачт и других простых ненаправленных антенн радиус выбирают не менее $R \geqslant 3\lambda$ или не менее 2—3 высот мачт антенн.

Радиус-маршрут обмера антенны выбирают с таким расчетом, чтобы по нему можно было пройти или, лучше, проехать на автомашине с установкой для измерения диаграммы направленности антенны. Минимально возможный радиус определяют с учетом измерений напряженности поля в дальней сформированной зоне излучения, как это было описано выше. Максимальный радиус зависит от чувствительности измерительного прибора.

На выбранном маршруте намечают места (площадки) для проведения измерений, которые располагаются через 10° по выбранной окружности при измерении диаграмм направленности ненаправленных или слабо направленных антенн и через 5° — для остронаправленных антенн. В пределах главного лепестка диаграммы направленности антенны разбивку производят через 2—3°. Следует также иметь в виду, что точность результатов измерений

зависит от того, насколько близко от антенны расположены металлоконструкции, линии электропередач, другие антенны и их фидерные линии, а также от рельефа местности. Поэтому при измерении антенн, например диапазона гектометровых волн, расстояние от выбранной для измерения площадки до металлических и железобетонных конструкций, линий связи и высоковольтных линий должно быть не менее 150 ... 200 м, а от деревянных или глинобетонных сооружений и отдельно стоящих деревьев — не менее 50 ... 100 м. При измерении антенн диапазона декаметровых волн эти расстояния составляют соответственно 15 ... 20 и 5 ... 10 м. Разбивку точек для проведения измерений на местности проводят геодезическими методами.

Измерения начинают с главного направления. Измерительный прибор располагают в направлении максимального излучения измеряемой антенны и регулируют его чувствительность так, чтобы стрелка индикатора находилась в пределах последней четверки шкалы выходного прибора. Результаты измерений и время их проведения заносят в табл. 5.2.

Таблица 5.2

№ п/п	Градусы	Показатели прибора	Приведенное значение	Время проведения измерения	Мощность передатчика
1	2	3	4	5	6

Затем измерительную установку перемещают по выбранному маршруту в соседнюю точку, проводят измерения напряженности поля аналогичным путем, а результаты заносят в табл. 5.2.

При измерениях следует убедиться в том, что местные предметы не влияют на результаты измерений. Для этого на площадках, вокруг которых расположены эти предметы, делают несколько контрольных замеров на расстоянии 50 ... 100 м один от другого. Если результаты измерений совпадают, то место для проведения измерений выбрано правильно.

Очень важно, чтобы мощность, подводимая передатчиком к антенне, была постоянной при проведении измерений во всех точках. В противном случае результаты измерений будут неверными. Колебания мощности передатчика необходимо учесть при обработке результатов измерений. Для этого оператор на передатчике фиксирует его выходную мощность через дискретные промежутки времени, например через 10 мин. Оператор измерительной установки «привязывается» к этой дискретности времени при обработке результатов измерений.

Обработку результатов измерений начинают с проверки стабильности излучения антенны. Для этого из аппаратного журнала передатчика переносят в графу 6 табл. 5.2 зафиксированную мощ-

ность излучения передатчика. В тех точках, где мощность передатчика не соответствовала номинальной, следует провести повторное измерение. Затем рассчитывают приведенные значения измерений путем деления результатов в каждой точке измерений на наибольшее значение, полученное при измерении (табл. 5.2, графа 3). Результаты записывают в графу 4 этой таблицы.

По полученным приведенным значениям строят диаграмму направленности антенны в горизонтальной плоскости в выбранной (см. § 5.1) системе координат.

Измерения с помощью летательных аппаратов. Измерение диаграмм направленности антенн с помощью летательных аппаратов имеет несколько преимуществ перед наземными измерениями. За счет исключения влияния посторонних предметов на результаты измерений и выбора оптимальной высоты полета летательного аппарата повышается точность измерений. Появляется возможность измерения диаграммы направленности антенн в вертикальной плоскости, автоматизации измерений, а также сокращения времени их проведения. Однако такие измерения связаны с применением более сложной измерительной аппаратуры, что, в свою очередь, требует более высокой квалификации специалистов для обслуживания этой аппаратуры.

Измерение можно условно разделить на три части: подготовку, проведение и обработку результатов.

Подготовка к измерению включает в себя градуировку измерительной установки, выбор маршрута облета антенны и определение высоты полета летательного аппарата.

Как указывалось в § 5.3, измерительная установка (см. рис. 5.12) для измерения диаграмм направленности антенн с помощью летательных аппаратов (самолетов, вертолетов) градуируется на каждой из рабочих частот, на которых предстоит проводить измерения, и при всех возможных сочетаниях коэффициентов ослабления аттенюаторов по высокой и промежуточной частотам.

Сначала производят градуировку отклонения светового пятна фотописца в зависимости от показания прибора УПТ. Для этого на вход предварительно прогретой измерительной установки подают напряжение с генератора сигналов. Величину входного напряжения регулируют так, чтобы стрелка прибора УПТ сначала отклонилась на 10°. При этом измеряют и записывают отклонение светового пятна фотописца. Не изменяя усиления приемника, увеличивают входное напряжение до отклонения стрелки прибора УПТ на 20°. Снова фиксируют отклонение светового пятна и т. д. По полученным результатам строят график градуировки фотописца в зависимости от показаний прибора УПТ (рис. 5.13).

После этого градуируют усиление установки в зависимости от напряжения на входе при различных положениях аттенюаторов. Для этого сначала устанавливают минимальное затухание аттенюаторов, а напряжение на входе установки регулируют так, чтобы можно было зафиксировать через каждые 10° отклонения стрелки УПТ значение этого напряжения и отклонение светового

пятна фотописца. Увеличивают затухание аттенюатора по промежуточной частоте и производят описанную выше градуировку. Усиление приемника при этом должно быть постоянным. По полученным результатам строят графики градуировки УПТ в зависимости от напряжения на входе (рис. 5.14).

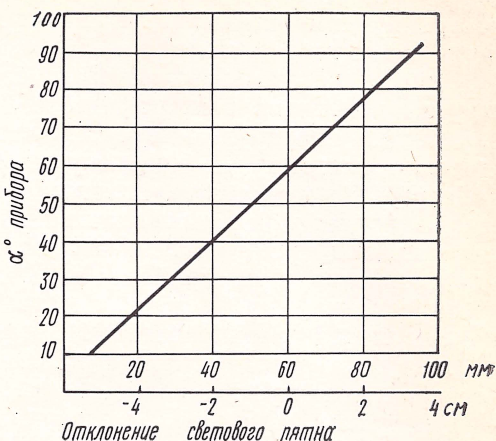


Рис. 5.13. График градуировки записи фотописца

При обработке фотоленты самописца достаточно измерить амплитуду отклонения светового пятна в какой-либо точке и по соответствующему графику с учетом коэффициентов затухания аттенюаторов определить напряжение на входе измерительной установки.

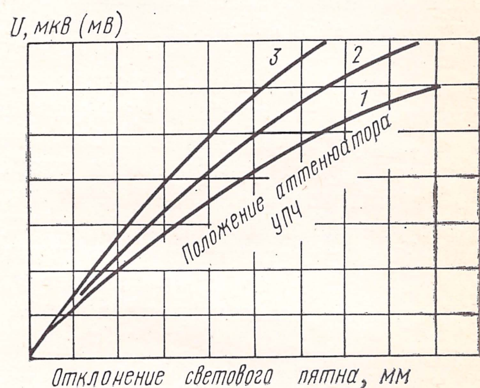


Рис. 5.14. График градуировки УПТ измерительного приемника

Маршрут облета антенны, как и маршрут обхода при наземных измерениях, выбирают по топографической карте. Для этого с генерального плана антенного поля переносят на карту электрический фазовый центр измеряемой антенны и проводят окружность радиусом 4 ... 6 км. Такое расстояние до измеряемой антенны соответствует дальней зоне излучения, т. е. выполняется условие $R \geqslant 2D^2/\lambda$. На окружности выбирают 18 ... 20 равномерно расположенных ориентиров, которыми могут служить населенные пункты, мосты, пересечения дорог и т. д. Выбранные ориентиры нумеруют и определяют расстояние и направление от центра антенны до них.

Высоту летательного аппарата h рассчитывают в зависимости от угла возвышения антенны Δ по формуле

$$h = \operatorname{tg} \Delta R, \qquad (5.17)$$

где R — радиус окружности полета, км. Угол возвышения берется из паспортных данных на антенну. Если по местным условиям

необходимо изменить высоту полета, то в соответствии с (5.17) следует изменить радиус окружности R.

Измерение диаграммы направленности включает в себя ориентацию летательного аппарата по выбранным опорным пунктам, настройку измерительной установки и измерение напряженности поля, создаваемого антенной.

Экипаж летательного аппарата знакомится с выбранным маршрутом полета по топографической карте и затем делает один-два полета по окружности с тем, чтобы провести инструментальную или глазомерную привязку маршрута полета к ориентирам на карте. Во время этих полетов операторы настраивают приемник измерительной установки на частоту передатчика измеряемой антенны, подбирают ступени аттенюации с таким расчетом, чтобы отклонение стрелки прибора УПТ соответствовало третьей четверти сектора шкалы, когда летательный аппарат находится в максимуме излучения антенны. В дальнейшем усиление приемника следует изменять только с помощью аттенюаторов, т. е. на известную величину.

Измерение диаграммы направленности антенны следует начинать за два-три опорных пункта до главного лепестка, который ориентировочно следует определить во время настройки измерительной установки, и закончить также на втором-третьем пункте после главного лепестка. Таким образом, напряженность поля в секторе главного лепестка излучения антенны будет записана 2 раза.

Во время полета над опорными пунктами по сигналу экипажа летательного аппарата операторы измерительной установки делают отметку на фотоленте с помощью датчика световых отметок фотописца, фиксируют номера опорных пунктов, время, положения аттенюаторов, отклонение стрелки выходного прибора, а также другие условия проведения измерения. Эти данные для удобства обработки результатов заносят в табл. 5.3. В графе «Примечание» отмечают смену кассет фотописца, регулировку нуля УПТ прибора, наличие радиопомех и т. д.

Таблица 5.3

№ опорного пункта	Время измерения	Положение аттенюаторов		Отклонение стрелки УПТ, град	Примечание
		ВЧ	ПЧ		

В процессе измерения необходимо следить за настройкой приемника на частоту передатчика измеряемой антенны путем контроля принимаемых сигналов с помощью динамика, проверять установку нуля УПТ прибора и наличие радиопомех. Обязательным требованием при этом является постоянство мощности, подводи-

мой передатчиком к измеряемой антенне. Измерение напряженности поля радиовещательных антенн можно проводить во время передачи программы радиовещания, а связные передатчики должны работать в режиме несущей частоты, модулированной тоном с частотой 500 ... 800 Гц.

Если во время записи напряженности поля антенны произойдет сбой измерений, то необходимо сделать повторный облет измеряемой антенны и провести повторные измерения.

Измерение диаграммы направленности антенн в вертикальной плоскости проводят на различных высотах полета летательного аппарата аналогичным методом. Минимальная высота полета выбирается равной 150 ... 200 м. Затем высоту полета увеличивают через 4 ... 5° до 4000 ... 5000 м. На высотах, близких к расчетным значениям угла максимального возвышения антенны (5.17), высота полета изменяется на 1,5 ... 2°. При такой методике для измерения диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости получают 12 ... 14 кругов облета по выбранному маршруту. Запись напряженности поля следует проводить во время полного облета только в максимуме излучения антенны на рассчитанной по (5.17) высоте. На остальных высотах достаточно измерить напряженость поля в секторе 30 ... 40° главного лепестка диаграммы направленности антенны.

Для измерения диаграммы направленности антенн, излучающих в зенит, маршрут полета намечают по прямой линии, проходящей над центром антенны. Высота полета должна быть постоянной, равной 1000 м. Первый опорный пункт намечают на расстоянии 10 ... 12 км от измеряемой антенны. Между антенной и этим пунктом намечают 2—4 контрольных опорных пункта. За опорные пункты измерения принимают километровые отметки на карте (рис. 5.15). Каждый опорный пункт соответствует опреде-

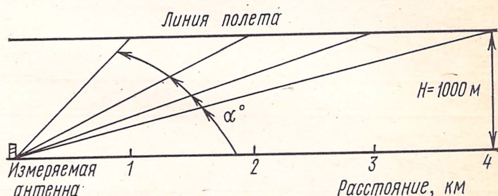


Рис. 5.15. К измерению диаграмм направленности антенн, излучающих в зенит

ленному углу α между направлением измерительной установки на антенну и плоскостью поверхности земли. Диаграмму направленности антенны строят после обработки результатов измерения напряженности поля в опорных точках.

Измерение диаграммы направленности приемных антенн проводят в обратном порядке. На летательном аппарате устанавливают передатчик небольшой мощности, а измерительную установку подключают непосредственно к фидеру измеряемой антенны.

Обработка результатов измерений состоит из обработки ленты фотописца, сведения результатов измерений в таблицу и построения диаграммы направленности антенн.

Проявленная лента имеет вид, представленный на рис. 5.16. На проявленной ленте проставляют номера ориентиров и азимуты опорных пунктов и отметок экстремальных значений кривой записи напряженности поля, которые определяют по топографической карте. Результаты измерений сводят в табл. 5.4.

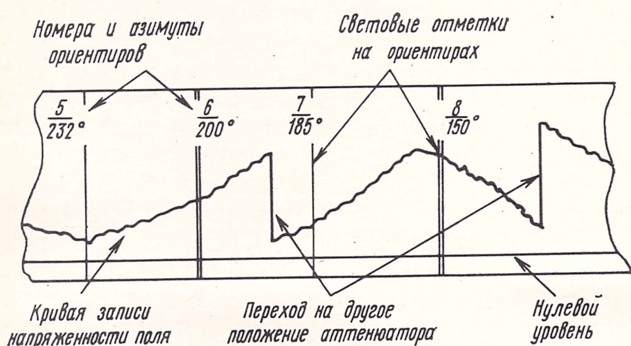


Рис. 5.16. Пример обработанной фотоленты

В графе 1 таблицы проставляют номера ориентиров из табл. 5.3. В графу 2 записывают расстояние от фазового центра антенны до точки измерения с учетом возможного отклонения летательного аппарата от маршрута полета во время проведения измерений. В графе 3 записывают полученный с помощью ленты

Таблица 5.4

Номер ориентира	Расстояние R, км	Истинный азимут ориентиров	Отклонение светового пятна α, мм	Положения аттенюаторов		Измеренная напряженность поля E, мкВ/м	Приведенная напряженность поля $E_{прив}$, мкВ/м	Нормированная напряженность поля $E_{прив}/E_{прив\,max}$	Приведенный азимут
				ВЧ	ПЧ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(см. рис. 5.16) истинный азимут и азимуты точек, в которых зафиксированы экстремальные значения напряженности поля. В графу 4 вносят измеренное по ленте значение отклонения светового пятна на фотоленте. В графах 5 и 6 проставляют взятые из табл. 5.3 затухания аттенюаторов, которые были установлены при измерении напряженности поля над соответствующим ориентиром. В графе 7 проставляют измеренную напряженность поля, которую определяют по графикам градуировки измерительной установки (см. рис. 5.13 и 5.14). Приведенную напряженность поля (графа 8) получают по приведенной к одному расстоянию мощности в случаях отклонения летательного аппарата от намеченного

маршрута полета по формуле $U_{прив}=U\sqrt{P_{прив}/P_{изм}}$. Нормированное значение напряженности поля (графа 9) получают из отношения $U_{прив}/U_{прив\,max}$. В графе 10 записывают приведенный азимут. При этом азимутальное направление максимальной напряженности поля главного лепестка диаграммы направленности антенны принимается за 0°, а остальные опорные пункты измерения приводятся с истинными (графа 3) азимутами.

По результатам табл. 5.4 строят диаграмму направленности антенны в горизонтальной плоскости. При правильно выбранном расстоянии между антеннами суммарная среднеквадратичная погрешность измерения определяется по формуле

$$\sigma=\pm\sqrt{(\delta E_{к})^2+(\delta E_{пер})^2+(\delta E_{пр})^2+(\delta E_{зап})^2}+\delta E_{р},$$

где $\delta E_{к}$ — максимальная погрешность измерения напряженности поля из-за неточного определения координат летательного аппарата; $\delta E_{пер}$ — погрешность измерения напряженности поля, обусловленная изменением мощности передатчика; $\delta E_{пр}$ — аппаратурная погрешность измерительного приемника; $\delta E_{зап}$ — погрешность записи и обработки результатов; $\delta E_{р}$ — систематическая погрешность, обусловленная диаграммой направленности рамочной антенны измерительной установки.

Допустимая суммарная погрешность измерения диаграмм направленности антенн составляет 14 ... 18% в зависимости от ширины диаграммы направленности антенны.

5.6. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

В предыдущих параграфах главы рассмотрены методы измерения диаграмм направленности антенн с помощью простой измерительной аппаратуры. Степень автоматизации таких измерений незначительна, но они с достаточной точностью позволяют судить о характеристике направленности больших по геометрическим размерам антенн, находящихся в эксплуатации. Антенны диапазонов более коротких волн (метровых, дециметровых, сантиметровых и миллиметровых) имеют сравнительно меньшие геометрические размеры, что позволяет значительно автоматизировать измерения диаграмм направленности этих антенн.

На рис. 5.17 приведена схема установки для измерения диаграммы направленности вращающихся антенн. Измеряемая антенна установлена на поворотном устройстве. Выход антенны подключен к анализатору спектра АС, соединенному с фотокамерой. Передающая антенна неподвижна и находится на расстоянии $R\geqslant 2D^2/\lambda$ от измеряемой. В качестве передатчика используется стабильный по мощности генератор сигналов Г. Приме-

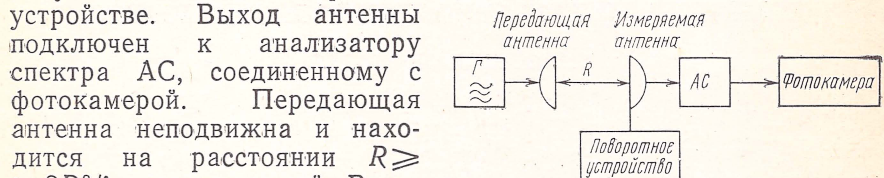


Рис. 5.17. Структурная схема установки для измерения диаграмм направленности вращающихся антенн

нение анализатора спектра с электроннолучевой трубкой, имеющей длительное послесвечение и градуированную сетку на экране, позволяет измерить и сфотографировать диаграмму направленности в горизонтальной плоскости за один оборот поворотного устройства.

В настоящее время в технике измерений параметров больших (громоздких) антенн широкое применение находит метод моделирования, который заключается в построении модели измеряемой антенны меньших размеров. Этот метод основан на принципе электродинамического подобия, согласно которому в геометрически подобных электродинамических системах распределение электрического и магнитного полей при выполнении определенных условий также подобно. Если геометрические размеры измеряемой антенны уменьшить в n раз, во столько же раз уменьшить оптимальную рабочую частоту моделируемой антенны, а также ее удельную электрическую проводимость, магнитную и диэлектрическую проницаемость, то параметры моделируемой и измеряемой антенн будут соизмеримы. Выполнение этих условий с допусками, которыми можно пренебречь при измерении, не сопряжено со значительными техническими трудностями. Кроме того, при таких допусках погрешности при измерении диаграмм направленности антенн вполне приемлемы.

Моделирование следует проводить с таким расчетом, чтобы можно было автоматизировать измерения, например, только что рассмотренным методом. В этом случае можно измерить диаграмму направленности как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. При проведении измерений должны быть приняты меры, чтобы обеспечить постоянство излучаемой генератором сигналов мощности, а также меры, исключающие переизлучения, отражения и искажения фронта волны.

Автоматизация измерений диаграмм направленности остронаправленных антенн проводится также методом измерения напряженности поля в ближней зоне, т. е. непосредственно по поверхности раскрыва излучающей системы антенны, и пересчета полученных результатов с помощью быстрого преобразования Фурье на ЭВМ.

Глава шестая

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ РАДИОПОМЕХ

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

К индустриальным радиопомехам относят [30] электромагнитные помехи, которые создаются различными электрическими и электронными устройствами, применяемыми в технике, науке, быту и т. д., и могут оказывать действие, мешающее радиоприему. К ним не относятся излучения, создаваемые высокочастотными трактами радиопередатчиков.

Устройствами-источниками индустриальных радиопомех являются:

радиоэлектронные средства (передатчики, приемники и их оборудование);

высокочастотные установки промышленного (печи для плавления, закалки и др.), медицинского (УВЧ терапия, диатермия и др.), научного (циклотроны, синхрофазотроны и др.), бытового (печи, сушилки и др.) назначения;

электротехнические устройства промышленного (моторы, генераторы и др.) и бытового (холодильники, утюги, пылесосы и др.) назначения;

высоковольтные линии электропередач;

средства электротранспорта;

устройства с двигателями внутреннего сгорания (автомобили, мотоциклы, катера и др.);

средства проводной связи и др.

Каждый источник индустриальных радиопомех содержит один или несколько помехообразующих элементов, вызывающих излучение электромагнитной энергии. К ним относятся высокочастотные контуры, генераторы, контакты переключателей тока, напряжения или сопротивления, электроды и т. д. Источники индустриальных радиопомех создают помехи радиоприему, как правило, в широкой полосе частот.

Индустриальные радиопомехи подразделяют [30] на длительные, длительность которых, измеренная в регламентированных условиях, не менее 1 с, и непродолжительные, длительностью не более 1 с. Непродолжительные радиопомехи, длительностью не более 0,2 с, относят к кратковременным индустриальным радиопомехам.

Возникая в помехообразующих элементах, индустриальные радиопомехи распространяются в открытом пространстве и по проводам.

В открытом пространстве индустриальные радиопомехи характеризуют напряженностью электромагнитного поля, которое зависит от мощности источника радиопомех. Более мощными являются высокочастотные установки промышленного и медицинского назначения, мощность которых достигает десятков и сотен киловатт. По мере удаления от источника радиопомех напряженность поля в открытом пространстве убывает по закону $1/r^3 \dots 1/r^2$ при $r \ll 2\pi/\lambda$ и $1/r$ при $r \gg 2\pi/\lambda$, где r — расстояние от источника радиопомех до точки измерения, λ — длина волны. В соответствии с этим напряженность электромагнитного поля, создаваемого большинством источников индустриальных радиопомех, на расстоянии уже десятков метров становится сравнительно малой; это исключает измерение напряженности поля в дальней зоне излучения.

На практике измерения напряженности поля радиопомех проводят на расстоянии 1 ... 10 м. Поэтому измеряют одну из составляющих этой напряженности поля (магнитную или электриче-

скую). В диапазонах низких частот измеряют не поле, а индуктивную часть магнитной составляющей поля, так как на указанном расстоянии поле не сформировано.

Основным путем распространения индустриальных радиопомех являются провода. Даже радиопомехи малой мощности распространяются на значительные расстояния. При этом радиопомехи распространяются по проводам, непосредственно связанным с источником радиопомех (первичные носители), а также по проводам, имеющим достаточную емкостную или индуктивную связь с первичными носителями радиопомех. К ним относят провода питания, управления и контроля, трубы отопительной системы, лифты и др. Их называют вторичными носителями радиопомех. Источник индустриальных радиопомех в этом случае можно рассматривать и как генератор, и как потребитель энергии.

На рис. 6.1 приведена схема распространения радиопомех по проводам электросети. Источник радиопомех создает на клеммах

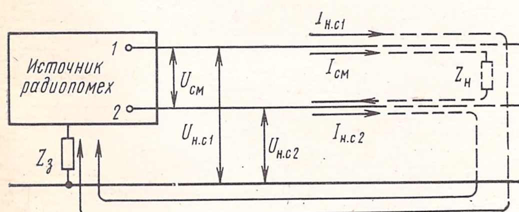


Рис. 6.1. Схема распространения радиопомех по проводам

напряжение $U_{см}$, которое называют [30] симметричным. Кроме того, этот же источник радиопомех создает напряжение между каждым проводом и корпусом устройства или землей $U_{нс_1}$, $U_{нс_2}$, которые называют несимметричным напряжением радиопомех. Симметричные и несимметричные напряжения вызывают в электросети соответствующие токи радиопомех $I_{см}$, $I_{нс_1}$, $I_{нс_2}$. Симметричные токи замыкаются через сопротивление нагрузки $Z_н$, а несимметричные — через $Z_з$. Симметричные токи, как правило, имеют равные векторы, направленные навстречу друг другу. Поэтому с точки зрения излучения радиопомех они являются менее опасными.

Индустриальные радиопомехи могут оказывать действие, мешающее работе радиоприемного устройства, через его антенну, непосредственно на его схему и по проводам питания. Количественная и качественная характеристики мешающего воздействия определяются напряженностью поля, значениями симметричного и несимметричного напряжений или мощности радиопомехи, а также помехоустойчивостью приемного устройства, т. е. восприимчивостью к радиопомехам каждого возможного пути их проникновения в приемник.

В международном масштабе целенаправленные работы в области изучения индустриальных радиопомех проводит Международный специальный комитет по радиопомехам (СИСПР), кото-

рый входит в Международный электротехнический комитет (МЭК).

Первое официальное совещание СИСПР состоялось в 1937 г. в Париже. Основной задачей СИСПР являются достижение международных соглашений в области борьбы с индустриальными радиопомехами и, благодаря этому, стимулирование международной торговли. Он проводит работы, связанные с защитой радиоприема от индустриальных радиопомех, устанавливает нормы на радиопомехи, вырабатывает требования к измерительной аппаратуре, применяемой для измерения уровней индустриальных радиопомех, и разрабатывает методы их измерений. Руководящим органом СИСПР является Пленарная ассамблея, проводимая 1 раз в три года. Она избирает Руководящий комитет, который собирается 1 раз в год, и подкомитеты. Подкомитеты состоят из рабочих групп, которые и решают основные технические вопросы по закрепленным за группой источникам индустриальных радиопомех.

Членство СССР в МЭК осуществляет Госстандарт СССР, при котором действует Советская часть специального комитета по радиопомехам (Сов. СИСПР). Сов. СИСПР является междуведомственной организацией. Через ее посредство советские организации и специалисты участвуют в деятельности СИСПР.

В нашей стране действует система норм на индустриальные радиопомехи, которая учитывает международные рекомендации и нормы в этой области. Для защиты радиоприема, радиовещания и телевидения Общесоюзными нормами допускаемых индустриальных радиопомех [26] нормируются параметры:

электроустройств, эксплуатируемых в жилых домах или подключаемых к их электрическим сетям (Нормы 1-72);

средств электротранспорта, к которым отнесены электроподвижный состав городского и железнодорожного транспорта, тяговые подстанции, контактные сети, устройства блокировки и сигнализации (Нормы 2-72);

автомобилей, мотоциклов и других устройств, содержащих двигатели внутреннего сгорания (Нормы 3-72);

устройств, содержащих источники кратковременных радиопомех (Нормы 4-72);

промышленных, научных, медицинских и бытовых высокочастотных установок (Нормы 5-72);

линий электропередач и силовых подстанций (Нормы 6-72);

светильников с люминесцентными лампами (Нормы 7-72);

электроустройств, эксплуатируемых вне жилых домов и не связанных с их электрическими сетями; предприятий (объектов) на выделенных территориях или в отдельных зданиях (нормы 8-72);

устройств проводной связи (Нормы 9-72);

телевизионных и УКВ ЧМ радиовещательных приемников (Нормы 10-74) [27];

радиовещательных приемников с амплитудной модуляцией (Нормы 12-76) [28].

Защиту радиоприема, осуществляемого профессиональными приемными устройствами, от индустриальных радиопомех, обеспечивают Общесоюзные нормы допускаемых индустриальных радиопомех от устройств, эксплуатируемых совместно со служебными радиоприемными устройствами [29].

Из приведенного перечисления общесоюзных норм видно, что практически параметры всех источников индустриальных радиопомех нормированы. На некоторые группы источников радиопомех введены ГОСТ [31—34].

Нормирование индустриальных радиопомех проведено [26] в полосе частот 250 кГц ... 300 МГц. Параметры групп источников радиопомех, отнесенных к Нормам 1-72, 3,72, 5-72 и 6-72, дополнительно нормируются [35] в полосе частот 300 ... 1000 МГц.

Нормами установлены допустимые значения напряжения индустриальных радиопомех в проводах и напряженности поля радиопомех. Каждые нормы рассчитаны под измерительные приборы, имеющие регламентированные технические характеристики.

При измерении уровней индустриальных радиопомех вследствие ряда причин возможны значительные аппаратурные и методические погрешности. Они вызываются изменением в широких пределах параметров нагрузки, способностью радиопомех распространяться различными путями, влиянием способа заземления источника радиопомех. На результаты измерения оказывают также влияние место подключения измерительного прибора и расположение измерительной антенны по отношению к источнику радиопомех, проведение измерений в ближней зоне излучения и др. Поэтому измерения напряженности поля, напряжения и тока индустриальных радиопомех проводят в регламентированных условиях с применением измерительной аппаратуры, отвечающей требованиям ГОСТ 11001—80 [36].

6.2. ИЗМЕРИТЕЛЬ РАДИОПОМЕХ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

В состав приборов для измерения радиопомех входят измеритель радиопомех и одно или несколько измерительных устройств, обеспечивающих измерение напряжения, напряженности поля, мощности и тока помех. Измерительными устройствами являются эквиваленты сети и пробники, измерительные антенны, поглощающие клещи и токосъемники.

Измерители радиопомех градуируются в эффективных значениях синусоидального напряжения, выраженных в децибелах относительно 1 мкВ, 1 мкВ/м, 1 пВт или 1 мкА.

Комитет СИСПР установил три полосы частот, в пределах которых все измерители индустриальных радиопомех должны иметь одинаковые технические характеристики: I — 10...150 кГц; II — 150 кГц...30 МГц; III — 30...1000 МГц.

Структурная схема измерителя радиопомех (рис. 6.2) состоит из входного устройства ВУ, аттенюатора, усилителя высокой частоты, преобразователя, аттенюатора, усилителя промежуточной частоты, детектора квазипикового (пикового) и эффективного значений и вольтметра. Измеритель радиопомех представляет собой высококачественный измерительный приемник супергетеродинного типа с одним, двумя или более преобразователями высокой частоты.

Входное устройство служит для подключения измерителя к источнику радиопомех. При измерении напряжения радиопомех входным устройством явля-

ются эквивалент сети или пробник (для измерения напряжения), измерительная антенна (для измерения напряженности поля), поглощающие клещи (для измерения мощности), и токосъемник (для измерения тока).

Измеряемый сигнал с входного устройства поступает на аттенюатор по высокой частоте, который служит делителем напряжения и согласующим элементом при подключении к ВЧ тракту калибратора.

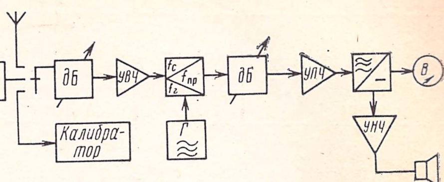


Рис. 6.2. Структурная схема измерителя радиопомех

Высокочастотный блок состоит из усилителя высокой частоты, смесителя и гетеродина. Назначение каскадов блока и их работа те же, что у обычных каскадов супергетеродинных приемников. С выхода преобразователя измеряемый сигнал поступает на аттенюатор по промежуточной частоте.

Наличие двух делителей напряжения сигнала обусловлено тем, что при делении этого напряжения только по ВЧ неделимыми остаются шумы каскадов ВЧ, что может привести к погрешностям в измерении. При делении напряжения сигнала по ПЧ создается опасность перегрузки каскадов ВЧ, что ведет к нарушению их линейности и к недопустимым погрешностям. Поэтому деление напряжения измеряемого сигнала сначала производят по ПЧ, освобождаясь от излишних шумов каскадов ВЧ, затем регулируют напряжение аттенюатором ВЧ, добиваясь линейности работы трактов усилителя ВЧ, а затем снова регулируют по ПЧ.

Усилитель промежуточной частоты состоит из нескольких полосовых фильтров, имеющих коэффициент связи между собой, равный 0,5 ... 1,5. Как известно, в тракте ПЧ происходит основное усиление напряжения измеряемого сигнала.

Линейный тракт измерителя радиопомех, состоящий из усилителей ВЧ и ПЧ, имеет нормированные характеристики избирательности по ширине полосы пропускания на уровне —6 дБ Δf, а также по эффективной $\Delta f_{эфф}$ и импульсной $\Delta f_{им}$ ширине полосы пропускания. Кроме того, в отличие от схем обычных супергетеродинных приемников, для получения идентичных по форме импульсов на выходе линейного тракта ГОСТ 11001—80 устанавливает пределы для кривых общей избирательности измерителей радиопомех I и II классов. Рисунок 6.3. иллюстрирует порядок отсчета общих характеристик избирательности. По оси абсцисс отложены значения абсолютной расстройки по отношению к резонансной частоте f_0, по оси ординат — отношение входного напряжения $U_i(f)$ на частоте f к напряжению $U_i(f_0)$ на частоте f_0, необходимое для того, чтобы оба напряжения привели к образованию одинаковых напряжений на выходе. Кривая *АВС* соответствует минимальной, а *АДЕ* — максимальной связи между контурами усилителя ПЧ. Область допустимых значений избирательности заштрихована. Числовые значения кривых, соответствующих [36], для различных измерителей радиопомех приведены в табл. 6.1.

Кривую избирательности снимают экспериментально с помощью генератора сигналов, калиброванное напряжение которого подают на вход измерителя радиопомех, настроенного на частоту генератора сигналов f_0. Отмечают показание выходного прибора. Изменяют частоту на определенное число килогерц и увеличивают уровень входного напряжения генератора сигналов до прежнего значения. Точное значение расстройки определяют с помощью частотомера. По полученным данным строят график. Измеритель радиопомех отвечает требованиям ГОСТ по общей избирательности, если снятая экспериментально кривая находится внутри области допустимых значений, построенной для соответствующего прибора (см. рис. 6.3) по данным табл. 6.1.

Измеритель радиопомех, как и любой другой радиоприемник супергетеродинного типа, кроме основного канала имеет побочные каналы приема. Выше

Таблица 6.1

Полоса частот	Класс прибора	Δf_{min}, кГц	Δf номинальная, кГц	Δf_{max}, кГц	Δf на уровне 20 дБ, кГц
I 10...150 кГц	—	0,09	0,165	0,220	0,440
II 150 кГц...30 МГц	I	8	9	10	20
	II	6	8	10	22
III 30...1000 МГц	I	100	120	140	280
	II	88	116	144	320

указывалось, что индустриальные радиопомехи в основном маломощные. Поэтому на результат измерения могут оказать существенное влияние другие источники, излучения которых происходят на частотах $f_{пр1}$; $nf_г \pm f_{пр1}$; $f_г \pm f_{пр1}/m$; f_0/k; $f_0 \pm f_{пр2}$ и т. д., где $f_г$ — частота гетеродина измерителя радиопомех; $f_{пр1}$ — первая промежуточная частота; $f_{пр2}$ — вторая промежуточная частота; f_0 — частота настройки измерителя радиопомех; n, m, k — целые числа.

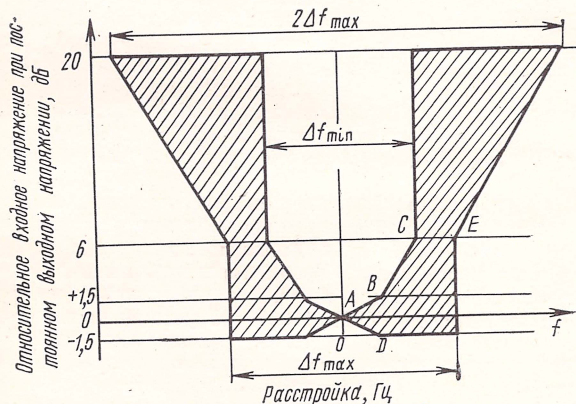


Рис. 6.3. К отсчету характеристик избирательности измерителя радиопомех

Ослабление частот, равных промежуточной частоте, частоте зеркального канала $f_г \pm f_{пр1}$ и других побочных каналов должно составлять [36] не менее 40 дБ для приборов I и 30 дБ для приборов II класса. Ослабление по каналам побочного приема определяют как отношение входного синусоидального напряжения на частоте настройки измерителя радиопомех при условии, что оба напряжения вызывают одно и то же показание индикаторного прибора.

После усиления в усилителе ПЧ измеряемый сигнал поступает на детектор. В измерителе радиопомех применяют детектор, который измеряет квазипиковое (пиковое) или эффективное значение радиопомех. Основными параметрами квазипикового детектора (рис. 6.4) являются постоянные времени заряда и разряда, коэффициенты детектирования и коэффициент передачи одиночного импульса.

Постоянная времени заряда $\tau_з$ представляет собой время, в течение которого приложенное ко входу измерителя радиопомех синусоидальное напряжение

постоянной амплитуды достигнет на емкостной нагрузке детектора 63% установившегося значения. Постоянная времени разряда $\tau_р$ представляет собой время, в течение которого при снятии со входа измерителя радиопомех синусоидального напряжения постоянной амплитуды напряжение на емкостной нагрузке детектора уменьшится на 37% от установившегося значения.

Зависимость постоянной времени заряда от параметров элементов схемы квазипикового детектора определяют с помощью параметра a

$$a = \tau_з / RC, \qquad (6.1)$$

где R — эквивалентное сопротивление, равное сопротивлению контура при резонансе, Ом; C — емкость контура, пФ.

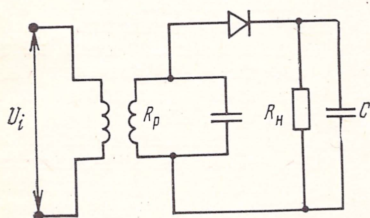


Рис. 6.4. Принципиальная схема квазипикового детектора

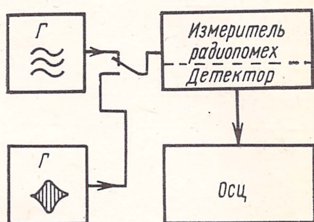


Рис. 6.5. Структурная схема измерительной установки для проверки постоянной времени заряда и разряда детектора

Значения параметра a приведены в табл. 6.2. Там же приведены постоянные времени заряда и разряда [36] для трех полос измерителей радиопомех I класса. Из данных табл. 6.2 следует, что $\tau_р \gg \tau_з \gg \omega$, где ω — угловая частота синусоидального напряжения.

Таблица 6.2

Параметр детектора	Значение параметра в полосе частот		
	10...150 кГц	150кГц...30МГц	30...1 000 МГц
Постоянная времени заряда, мс	45±9	1±0,2	1±0,2
Постоянная времени разряда, мс	500±100	160±30	550±110
Коэффициент a	2,86	3,90	4,03
Коэффициент детектирования синусоидального напряжения, $K_{с.у}$	0,805	0,970	0,992

Постоянные времени заряда и разряда детектора проверяют с помощью измерительной установки (рис. 6.5). Для этого с выхода генератора сигналов на вход настроенного измерителя радиопомех подают калиброванное синусоидальное напряжение. На экране осциллографа, подключенного к нагрузке детектора так, чтобы его входное сопротивление не вызывало заметного изменения сопротивления детектора, фиксируют отклонение луча A. Затем от генератора радиоимпульсов подают на вход измерителя радиопомех одиночный импульс с частотой следования не более 0,1 Гц, с регулируемой длительностью и амплитудой, равной амплитуде ранее подаваемого синусоидального напряжения. По генератору радиоимпульсов отмечают длительность импульса, при которой отклонение луча осциллографа соответствует 0,63 А. Данная длительность импульса равна постоянной времени заряда $\tau_з$ детектора.

Для проверки постоянной времени разряда $\tau_р$ поступают аналогичным образом, но от генератора радиоимпульсов на вход измерителя радиопомех пода-

ют синусоидальное напряжение, отключаемое на регулируемое время. При этом отмечают длительность паузы, при которой отклонение луча осциллографа соответствует 0,37 А. Эта длительность соответствует постоянной времени разряда $\tau_р$ детектора.

Коэффициент детектирования синусоидального напряжения при установившемся режиме $K_{с.у}$ определяется отношением сопротивления контура при резонансе $R_р$ и сопротивления нагрузки $R_н$

$$K_{с.у} \approx \cos\left(\sqrt[3]{3\,\pi\,R_р/R_н}\right). \qquad (6.2)$$

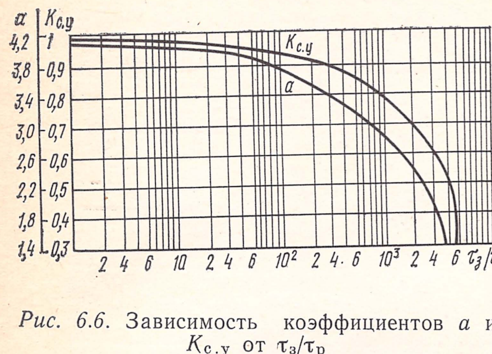


Рис. 6.6. Зависимость коэффициентов a и $K_{с.у}$ от $\tau_з/\tau_р$

На рис. 6.6 приведены графики коэффициентов a и $K_{с.у}$ в зависимости от $\tau_з/\tau_р$, которые позволяют вычислить необходимые параметры схемы детектора (см. рис. 6.4). Значения $K_{с.у}$ для измерителей радиопомех приведены в табл. 6.2.

Коэффициент детектирования импульсов K_F в зависимости от частоты F их поступления на вход прибора представляет собой импульсную характеристику детектора, которая определяет стабильность измерения радиопомех. Импульсную характеристику и ее зависимость от параметров схемы детектора определяют через параметр H:

$$H = \pi\,R_р\,\Delta f/R_д\,F = \pi\,\tau_з\,\Delta f/a\,\tau_р\,F. \qquad (6.3)$$

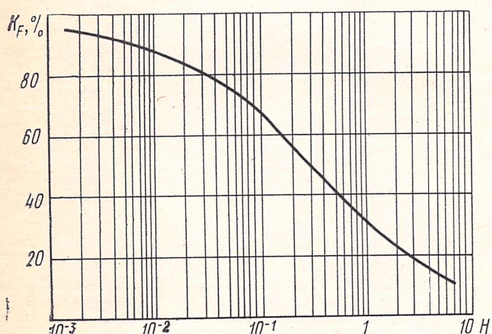


Рис. 6.7. Универсальная характеристика квазипикового детектора

На рис. 6.17 приведена универсальная кривая импульсной характеристики квазипикового детектора, которая позволяет, зная H, определить коэффициент импульсов K_F. Из рис. 6.7 видно, что с уменьшением частоты следования импульсов коэффициент детектирования увеличивается.

Перегрузка детектора может наступить при поступлении на его вход одиночного импульса. *Коэффициент детектирования одиночных импульсов*

$$K_F(0) = a/\pi\,\tau_з\,\Delta f_{им}. \qquad (6.4)$$

График на рис. 6.7 справедлив при частоте поступления импульсов на вход детектора, большей 2 Гц. В случаях более редких импульсов K_F следует рассчитывать по (6.4).

Используя (6.2) и (6.4), можно вычислить коэффициент перегрузки детектора по напряжению для одиночного импульса:

$$K_{п.д} = 20\lg\frac{K_{с.у}}{K_{F\,(0)}} = 20\lg\left[\frac{\pi}{a}\tau_з\,\Delta f_{им}\cos\left(\sqrt[3]{\frac{3\pi}{a}\,\frac{\tau_з}{\tau_р}}\right)\right]. \qquad (6.5)$$

Коэффициент детектирования белого шума $K_ш$ можно определить по графику на рис. 6.7, используя для этого данные табл. 6.2. Из графика следует, что квазипиковый детектор измеряет не среднее значение огибающей белого шума, а некоторую псевдопиковую величину, которая может быть больше эффективного значения.

В некоторых типах квазипиковых вольтметров в качестве индикатора результатов измерений применяют в основном магнитоэлектрический стрелочный прибор, который работает под воздействием хаотической последовательности выбросов импульсов тока, поступающих из усилителя. Основными характеристиками приборов данного типа являются баллистическая постоянная времени и степень демпфирования индикаторного прибора и его импульсная характеристика. Баллистическая постоянная времени $\tau_б$ определяется моментом энергии подвижной системы прибора J и удельным противодействующим моментом W

$$\tau_б = \sqrt{J/W}. \tag{6.6}$$

Значение $\tau_б$ приведено в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Полоса частот	$\tau_б$, мс	β	γ	$У$, при частоте следования F, Гц									
				0	1	2	5	10	20	25	50	60	100
I	160±32	0,69 — 1	0,32	0,5	0,52	0,57	0,77	0,88	—	0,95	—	0,99	0,995
II	160±30		1,0	0,27	0,29	0,35	—	0,72	0,85	—	0,96	—	0,995
III	100±20		0,18	0,6	0,65	0,73	—	0,92	0,96	—	0,99	—	1,0

Баллистическую постоянную времени $\tau_б$ индикаторного прибора проверяют путем сравнения значения синусоидального напряжения U, подаваемого на вход измерителя радиопомех, со значением напряжения прямоугольных регулируемых по длительности импульсов, подаваемых на нагрузку детектора, с амплитудой, равной $2{,}83U$. Путем изменения длительности импульса добиваются такого отклонения стрелки выходного прибора, которое было зафиксировано при подаче на вход измерителя синусоидального напряжения U. Длительность импульса при этом будет равна баллистической постоянной $\tau_з$ индикаторного прибора.

Коэффициент демпфирования β характеризуется коэффициентом успокоения $K_с$ подвижной системы прибора и определяется по формуле

$$\beta = K_с/2\sqrt{JW}. \tag{6.7}$$

Нормированное значение β приведено в табл. 6.3. Экспериментальные значения β определяются по формуле

$$\beta = \ln(\alpha_1/\alpha_2)/\sqrt{\pi^2 + \ln^2(\alpha_1/\alpha_2)}, \tag{6.8}$$

где α_1, α_2 — максимальное и установившееся отклонения стрелки, град, соответственно.

Если известен коэффициент демпфирования β, то баллистическая постоянная $\tau_б$ может быть определена по формуле

$$\tau_б = T\frac{1}{2\pi}\sqrt{1-\beta^2}, \tag{6.9}$$

где T — период свободных колебаний подвижной системы прибора.

Степень демпфирования индикаторного прибора проверяют по значению синусоидального напряжения, подаваемого на вход измерителя радиопомех, при котором стрелка индикаторного прибора отклонится на 95% полной шкалы. При критическом демпфировании во время выключения и включения напряжения стрелка прибора должна отклониться больше, чем на 95% всей шкалы, но не выходить за ее пределы.

Для определения импульсной характеристики индикаторного прибора необходимо установить связь между постоянной времени разряда детектора $\tau_р$ и баллистической постоянной $\tau_б$ и выразить ее через относительную постоянную времени γ, т. е. $\gamma = \tau_р/\tau_б$.

При измерении одиночных импульсов отклонения прибора будут тем больше, чем меньше баллистическая постоянная $\tau_б$ по сравнению с постоянной вре-

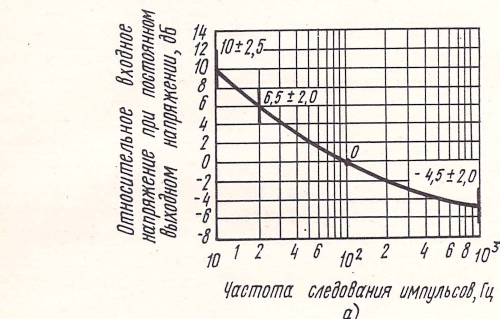
мени разряда детектора $\tau_р$. Иначе, чем больше коэффициент γ, тем большие перегрузки должен выдерживать усилитель постоянного тока измерителя радиопомех. При одиночном импульсе усилитель должен иметь запас усиления в $1/У$ раз больше, чем в случае синусоидального сигнала ($У$ — импульсная характеристика стрелочного прибора). Расчетные значения $У$ для отдельных точек импульсных характеристик для различных полос частот приведены в табл. 6.3.

В заключение необходимо отметить следующее:

1. Измеритель радиопомех должен иметь значительный запас линейности усиления. Перегрузки усилителя возникают при измерении кратковременных радиопомех; усилитель должен иметь запас линейности по напряжению $К_л = К_{с.у}/К_F$, который обеспечивает в основном усилитель ПЧ, и по току, равный $К_т = 1/У$, который обеспечивает усилитель постоянного тока. Таким образом, общий запас линейности

$$К = К_{п.д} К_т = К_{с.у}/К_F К_т. \qquad (6.10)$$

2. Общая импульсная характеристика измерителей радиопомех нормирована [36] в зависимости от полосы частот и класса прибора. На рис. 6.8 приведены



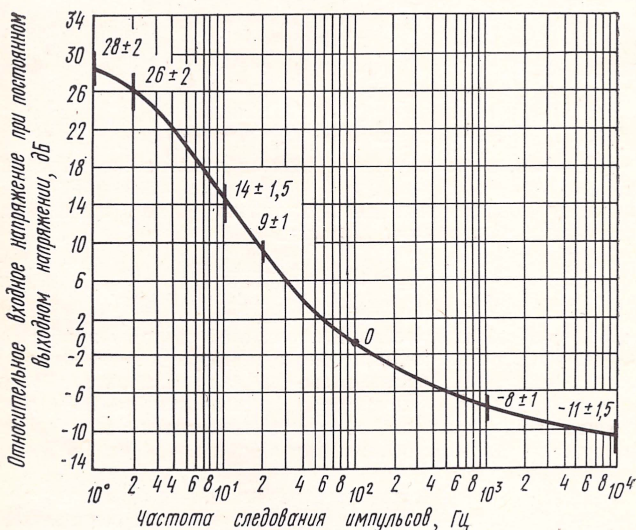


Рис. 6.8. Импульсные характеристики измерителей радиопомех 1-го класса:
а — для II полосы и *б* — для III полосы частот

импульсные характеристики для измерителей радиопомех I класса II и III полос частот.

3. Отношение действующего значения синусоидального напряжения к спектральной плотности напряжения импульсов Ф на входе измерителя радиопомех, рассчитывают по формуле

$$\Phi = 2\left|\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\, e^{-i\omega t}\, dt\right|, \qquad (6.11)$$

где $f(t)$ — функция, описывающая форму импульса. Это отношение, вызывающее одинаковое показание индикаторного прибора, составляет:

для I полосы частот — 76,4 1/с (при $F=10$ Гц);

для II полосы частот — 3160 1/с (при $F=100$ Гц);

для III полосы частот — 22 700 1/с (при $F=100$ Гц).

Погрешность в этих случаях не должна превышать ±1,5 дБ для приборов I класса и ±2,5 дБ для приборов II класса.

Для измерителей радиопомех с другими типами вольтметров указанные отношения приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Полоса частот	Отношение Ф для вольтметров, 1/с		
	среднего	среднеквадратичного	пикового
I	0,707	45,4 (при $F=25$ Гц)	149 (при $F\geqslant 10$ Гц)
II	0,707	610 (при $F=100$ Гц)	6 720 (при $F\geqslant 10$ Гц)
III	0,707	2 230 (при $F=100$ Гц)	89 500 (при $F\geqslant 10$ Гц)

Для вольтметра со средним детектором частоты следования импульсов F указаны в технической документации. Погрешность выполнения соотношений, приведенных в табл. 6.4, не должна превышать ±1,5 дБ.

6.3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Структурная схема установки для измерения напряжения радиопомех (рис. 6.9) состоит из измерителя радиопомех ИР, эквивалента сети ЭС, испытуемого устройства ИУ, которое может содержать электрическую нагрузку ЭН, и эквивалента руки ЭР. Последний применяют в том случае, когда испытуемое устройство по условиям его применения должно находиться в руках человека (например, электродрель, электробритва и т. д.).

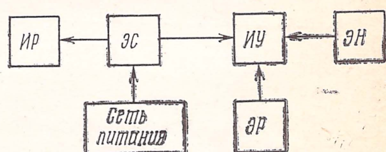


Рис. 6.9. Структурная схема измерительной установки для измерения напряжения радиопомех

Устройство измерителя радиопомех и основные технические требования к нему рассмотрены в § 6.2.

Эквивалент сети — устройство, включаемое в сеть питания источника индустриальных радиопомех и предназначенное для создания регламентированного сопротивления нагрузки на частоте измерения. Кроме того, эквивалент сети исключает возможность проникновения радиопомех из сети питания на вход измерителя радиопомех и является согласующим устройством между сетью питания и входными цепями измерителя радиопомех.

По исполнению эквиваленты сети могут быть фазными (V-образными) и дельтаобразными. Требования к эквивалентам сети изложены в [36].

Фазные эквиваленты сети могут быть одно-, двух-, трех- и четырехпроводными. Они предназначены для создания регламентированного сопротивления нагрузки между каждым из зажимов питания источника индустриальных радиопомех и «землей» при измерении фазного напряжения индустриальных радиопомех. На рис. 6.10 приведена схема трехфазного эквивалента сети V-образного типа. Она содержит резисторы R_1 и R_2, имеющие регламентированные сопротивления, фильтр, состоящий из емкостей C_1 и C_2 и индуктивности L, переключатель *П*, а также разъемы для подключения электрической сети, источника радиопомех и измерителя радиопомех.

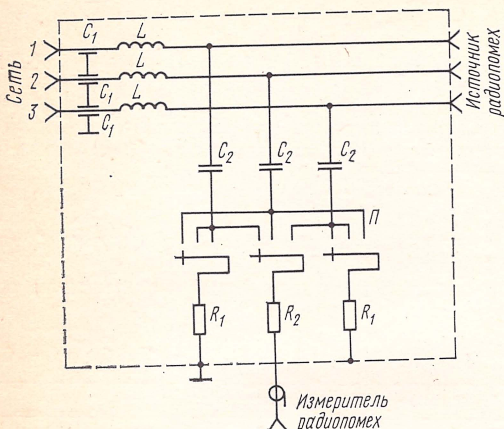


Рис. 6.10. Принципиальная схема трехфазного эквивалента сети V-образного типа

Подключение каждого провода испытуемого источника радиопомех к измерителю производят переключателем *П*.

Дельтаобразные эквиваленты сети применяют при измерении индустриальных радиопомех от источников, подключенных к двухпроводной сети питания, для создания регламентированного сопротивления нагрузки между зажимами источника индустриальных радиопомех, а также между этими зажимами, соединенными вместе, и «землей». Дельтаобразные эквиваленты сети применяют для измерения симметричных, несимметричных и фазных напряжений радиопомех. Схема такого эквивалента сети (рис. 6.11) содержит три резистора (R_1, R_2 и R_3), имеющих реагламентированные сопротивления. Они включены по схеме треугольника: один резистор (R_2) — между проводами сети, а два других ($R_{1,3}$) — между каждым из проводов сети и «землей». Назначение остальных элементов схемы то же, что и на рис. 6.10.

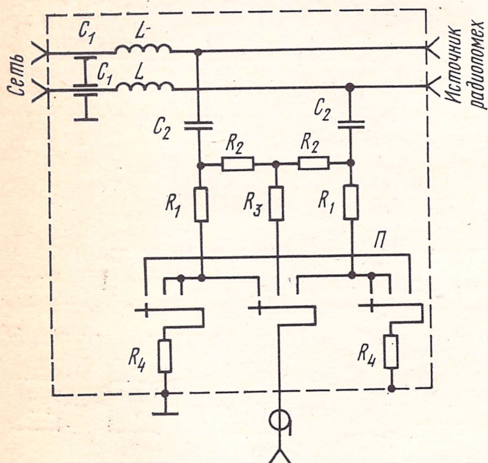


Рис. 6.11. Принципиальная схема двухпроводного эквивалента сети Δ-образного типа

Эквивалент руки (см. рис. 6.9) состоит из последовательно соединенных конденсатора и резистора, включенных между корпусом испытуемого источника радиопомех и «землей». Он компенсирует влияние руки оператора на результат измерения напряжения радиопомех.

Установка для измерения напряженности поля радиопомех (рис. 6.12) состоит из антенны и измерителя радиопомех ИР. Испытуемое устройство ИУ включают в сеть питания через ЭС. Назначение и устройство элементов схемы измерительной установки за исключением антенны, рассмотрено выше.

В полосе частот 0,15...30 МГц измеряют магнитную составляющую напряженности поля радиопомех, применяя для этого рамочную антенну. Размер рамки должен быть таким, чтобы она вмещалась в квадрат со стороной 60 см. Штыревую антенну длиной 1 м применяют для измерения электрической составляющей напряженности поля. При измерении необходимо, чтобы нижний конец

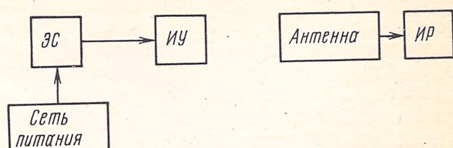


Рис. 6.12. Структурная схема измерительной установки для измерения напряженности поля радиопомех

антенны находился на высоте 1 м от уровня земли. В полосе частот 30...1000 МГц измеряют электрическую составляющую напряженности поля радиопомех, применяя симметричный диполь. При этом на частоте выше 80 МГц применяют полуволновой диполь, а на частотах ниже 80 МГц — антенну, длина которой соответствует длине полуволнового диполя, рассчитанного на частоту 80 МГц. Центр антенны находится на высоте 3 м над уровнем земли.

Антенна устанавливается на расстоянии 3 м от испытуемого устройства и высокочастотным кабелем соединяется со входом измерителя радиопомех.

При составлении измерительных установок (см. рис. 6.9 и 6.12) необходимо, чтобы измеритель радиопомех, испытуемое устройство и другие элементы схемы включались экранированными проводами минимальной длины. Результаты измерений зависят от расположения источника по отношению к земле. Влияние на результаты измерений оказывает заземление источника радиопомех. В тех случаях, когда измеряемый источник радиопомех является неизлучающей системой (например, электродвигатель), его непосредственно заземляют. Такое заземление недопустимо при измерении источников радиопомех, которые имеют в своих цепях питания эффективные фильтрующие устройства и являются излучающими системами (например, медицинское оборудование, дуговые сварочные аппараты и т. д.).

Измерение напряженности поля радиопомех проводят на специально выбранных площадках, свободных от предметов, которые могут быть переизлучателями электромагнитной энергии.

На основании изложенного можно сделать вывод, что на результаты измерений напряжения и напряженности поля радиопомех оказывают влияние не только технические характеристики применяемых измерительных приборов, но и еще ряд факторов. Поэтому правила составления измерительных установок, порядок проведения измерений и другие факторы регламентируются международными и всесоюзными [26] нормативно-техническими документами.

6.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Для измерения напряженности поля и напряжения радиопомех применяют измерители радиопомех типа ПКЗ-7 в полосе 10 ... 150 кГц, ПКЗ-3 в полосе 0,15 ... 30 МГц и ПКЗ-4 в полосе 30 ... 300 МГц, а также приборы ПКЗ-5 и ПКЗ-6 в полосе

250 ... 1000 МГц, которые рассмотрены в гл. 3 книги. Широкое применение нашли измерители радиопомех производства фирмы RFT (ГДР).

Измеритель радиопомех ПК3-7 предназначен для измерения напряженности поля и напряжений синусоидальных и импульсных сигналов радиопомех в полосе 10...150 кГц. Частотный диапазон измерителя перекрывается пятью поддиапазонами. Погрешность установки частоты не превышает ±1%. Прибор имеет симметричный и несимметричный входы, сопротивление которых составляет 600, 300 и 75 Ом, а также внешний симметричный переход с сопротивлением 180 Ом. Полоса пропускания широкая (200±40 Гц) или узкая (25±10 Гц). Нижние пределы измерения приведены в табл. 6.5, 6.6.

Таблица 6.5

Входное сопротивление, Ом	Нижний предел измерения напряжения, мкВ, при полосе, Гц	
	200	25
600	0,3	0,11
300	0,2	0,08
75	0,1	0,04

Таблица 6.6

Тип антенны	Нижний предел измерения напряженности поля, мкВ/м, при полосе, Гц	
	200	25
Рамочная	30	10
Штыревая	35	13

Верхний предел измерения напряжения равен 1 В, напряженности поля — 1 В/м. Ослабление помехи по зеркальному каналу не менее 50 дБ, ослабление помехи на частоте, равной промежуточной, не менее 70 дБ. Питание осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 или 400 Гц и напряжением 220 В и от источника постоянного тока напряжением 12...14 В (ток равен 0,1 А). Размеры измерителя составляют 540×314×354 мм, масса — 27 кг. Прибор содержит квазипиковый, пиковый и средний детекторы, выполнен по схеме супергетеродинного типа с двойным преобразованием частоты. В комплекте прибора имеются рамочная и штыревая антенны.

Измеритель радиопомех ПК3-3 предназначен для измерения напряженности поля и напряжения радиопомех в полосе 0,15...30 МГц, перекрываемой восемью поддиапазонами. В состав прибора входят комплект антенн ПО-2, эквиваленты сети ЯЗ-1 и ЯЗ-2, выпрямитель Б1-5, магнитный и электрический щупы для отыскания источников радиопомех, кабели и присоединительные насадки. Погрешность установки частоты не более ±1%. Прибор имеет нормированную ширину полосы пропускания 9 кГц и узкую 1 кГц. Нижние пределы измерений синусоидального напряжения составляют при работе в широкой полосе — 0,5 мкВ, в узкой — 0,2 мкВ; нижние пределы измерений напряженности поля синусоидального сигнала с помощью штыревой антенны из комплекта ПО-2 при широкой полосе — 25 мкВ/м, при узкой — 10 мкВ/м, с помощью рамочной антенны — 50 и 20 мкВ/м соответственно в широкой и узкой полосах. Верхние пределы измерений составляют для напряжения синусоидального сигнала — 0,1 В, для напряженности поля синусоидального сигнала на частоте 30 МГц — 1 В/м. Основная погрешность измерения соответственно при широкой и узкой полосе пропускания составляет для напряжения не более ±2 дБ и ±3 дБ, для напряженности поля синусоидальных радиопомех ±3 и ±4 дБ; импульсных ±4 и ±5 дБ. Прибор имеет квазипиковый, пиковый, средний и среднеквадратичный детекторы. Ослабление помех по зеркальному каналу не менее 50 дБ, по каналу с частотой, равной промежуточной частоте, не менее 40 дБ. Измеритель имеет симметричный вход с сопротивлением 75 Ом при фазовом угле не более 20°, а также выходы промежуточной частоты 465 кГц для подключения осциллографа, низкой частоты для прослушивания АМ и ЧМ сигналов, видеосигнала для подключения анализатора или счетчика. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В или от источника постоянного тока напряжением 12 В (ток равен 7 А).

Комплект измерительных антенн ПО-2 состоит из рамочной приставки с тремя сменными рамками, штыревой приставки с метровым штырем, штатива и десятиметрового соединительного кабеля.

Эквивалент сети ЯЗ-1 — трехфазный, V-образный, рассчитан на работу в сетях с частотой 50 и 400 Гц при напряжении 220 В и максимальном рабочем токе до 25 А. Коэффициент передачи высокочастотного напряжения от источника к измерителю равен —12 дБ. Ослабление радиопомех, проникающих из питающей сети в измерительную установку, не менее 30 дБ.

Эквивалент сети ЯЗ-2 — двухпроводный, Δ-образный, рассчитан на рабочий ток до 6 А. Коэффициент передачи напряжения от источника к измерителю равен —23 дБ. Ослабление радиопомех, проникающих из сети питания, не менее 30 дБ.

Измеритель радиопомех ПКЗ-4, рассчитанный на полосу 30...300 МГц, имеет аналогичные с прибором ПКЗ-3 назначение, структурную схему и погрешности измерений. В комплект прибора входят антенна ПО-3, эквивалент сети ЯЗ-3 и выпрямитель Б1-5. Диапазон частот перекрывается шестью поддиапазонами. Прибор имеет широкую (120 кГц) и узкую (15 кГц) полосы пропускания. Нижний предел измерений напряжения синусоидального сигнала при широкой полосе — 2,5 мкВ, при узкой — 1 мкВ, верхний предел — 0,5 В; нижний предел измерения напряженности поля синусоидального сигнала для укороченного диполя при широкой полосе на частоте 30 МГц равен 5 мкВ/м и на частоте 80 МГц — 8 мкВ/м, при узкой полосе — 2 и 3 мкВ/м соответственно; нижний предел измерений напряженности поля для полуволнового диполя при широкой полосе на частоте 80 МГц — 5 мкВ/м и на частоте 300 МГц — 20 мкВ/м, при узкой полосе — 2 и 10 мкВ/м соответственно. Верхний предел измерения напряженности поля синусоидального сигнала на частоте 30 МГц равен 0,5 В/м, на частоте 300 МГц — 3 В/м. Ослабление помехи на частоте зеркального канала составляет не менее 50 дБ, на промежуточной частоте — не менее 60 дБ. Измеритель имеет несимметричный вход с сопротивлением 75 Ом при КСВ=1,5.

В состав комплекта антенны ПО-3 входят укороченный диполь, полуволновой диполь и штатив со складными мачтами и приспособлениями для установки антенны. Укороченный диполь плавно перекрывает полосу 30...80 МГц. Его действующая длина при нагрузке 75 Ом на частоте 30 МГц составляет 1 м, на частоте 80 МГц — 0,6 м. Остальную часть полосы 80...300 МГц перекрывает полуволновой диполь, настраиваемый на измеряемую частоту выдвижными телескопическими лучами. Погрешность калибровки антенны не более ±1 дБ. Штатив и набор мачт позволяют устанавливать антенну на высоте 1...4 м. Имеется возможность поворачивать антенну в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Эквивалент сети ЯЗ-3 имеет V-образную схему, рассчитан на включение в сеть постоянного и переменного токов 25 и 15 А с частотой 50 и 400 Гц соответственно. Сопротивление эквивалента равно 50 Ом при КСВ не более 2. Коэффициент передачи ВЧ напряжения от источника радиопомех к измерителю равен —7 дБ. Ослабление радиопомех, проникающих из сети питания в измерительную установку, не менее 40 дБ. Ослабление радиопомех между двумя любыми проводами эквивалента более 20 дБ.

Измеритель радиопомех FSM6 изготовляется фирмой RFT (ГДР) в двух комплектах: а) FSM6.A2 в составе селективного микровольтметра типа SMV6.1 и измерительной антенны FMA6.2; б) FSM6.A3 в составе селективного микровольтметра SMV6.1, измерительной антенны FMA6.2, эквивалентов сети NNB101 и NNB102-2, эквивалента антенны AHB101, пробников тока TK101 и TK103 и блока нагрузочных сопротивлений TK102. Состав комплекта измерителя FSM6.A3 позволяет измерять напряжение в проводах и напряженность поля радиопомех.

Селективный микровольтметр SMV6.1 предназначен для измерения [39] ВЧ напряжений в полосе 0,1...30 МГц. По техническим характеристикам прибор соответствует ГОСТ 11001—80 [36] 1-го класса точности. Конструктивно выполнен в металлическом корпусе в виде отдельных блоков раздельного монтажа с помощью штыревых колодок, соединяющихся в общей схеме. Прибор имеет бо-

ковые ручки для переноса и может быть использован в лабораторных и полевых условиях.

Прибор SMV6.1 является супергетеродинным приемником, диапазон которого 0,1 ... 30 МГц перекрывается с помощью восьми поддиапазонов. На первом и втором поддиапазонах приемник работает с одним, на третьем и четвертом — с двумя, на пятом — восьмом — с тремя преобразованиями частоты. Настройка приемника производится инерционным приводом. Синхронно с настройкой частоты работает прецизионный потенциометрический датчик, обеспечивающий автоматическую настройку частоты измерительной антенны. Нарушение синхронизма при настройке компенсируется системой точной настройки. Прибор позволяет измерять среднее, пиковое и квазипиковое значения радиопомех. Пределы измерений среднего и пикового значений — 8 ... 132 дБ (0,4 мкВ ... 1,25 В). После калибровки прибора при ширине пропускания 200 Гц пределы измерений этих значений составляют 18 ... 122 дБ (0,125 мкВ ... 1,25 В). Пределы измерений квазипикового напряжения 2 ... 132 дБ (1,25 мкВ ... 1,25 В).

Входное сопротивление прибора без внутреннего ВЧ ослабления равно 75 Ом (фазовый угол $\leqslant 37°$), с внутренним ВЧ ослаблением, переключаемое, 50, 60 и 75 Ом (фазовый угол $\leqslant 10°$). Допустимое максимальное входное напряжение при сопротивлении 75 и 60 Ом равно 134 дБмкВ, при сопротивлении 50 Ом — 132,4 дБмкВ.

Погрешность измерений синусоидальных сигналов при индикации ноль децибел ±2 дБ. Погрешность можно уменьшить дополнительной калибровкой. При остальных видах индикации погрешность менее 2 дБ.

Ослабление помех по зеркальному каналу не менее 60 дБ, на частоте, равной промежуточной, не менее 55 дБ, а с режекторным фильтром, настроенным на частоту 66 кГц, не менее 115 дБ. Характеристика частотной избирательности, измеренная двухсигнальным методом, не менее 60 дБ. Подавление гармоник гетеродинов на входе ВЧ блока не менее 80 дБ, а колебаний других паразитных частот — не менее 40 дБ. Подавление радиопомех, проникающих из сети питания, не менее 100 дБ. Экранирование при включенном затухании 20 дБ при измерении уровня 0 дБ не менее 140 дБ.

Прибор имеет выходы для подключения самописца, головных телефонов, осциллографа ($U > 0{,}5$ В; $R = 14$ кОм), а также выходы генератора ($U_{вых} = 100$ мВ на сопротивлении 75 Ом), частотных меток, следующих через 100 или 500 кГц, кварцевой частоты 500 кГц, напряжения питания антенного усилителя 12 В. Прибор имеет входы точной внешней частоты первого гетеродина, частотных меток, напряжения свипирования, эталонной частоты 1 МГц.

Прибор SMV питается от сети переменного тока напряжением 220/110 В ± ±10% с частотами от 48 до 62 Гц, потребляемая мощность 18 В·А, или от батареи с напряжением 12 В, потребляя ток 0,3 А. Габаритные размеры прибора составляют 550×300×400 мм, масса — 36 кг. Время наработки на отказ не менее 500 ч.

Антенна измерительная FMA6.2 [40] предназначена для измерения напряженности электромагнитного поля радиопомех в полосе 0,1 ... 30 МГц. Антенна состоит из высокочастотного блока, трех ферритовых стержней и штыря длиной 1 м. Антенна может быть удалена от приемника на расстояние до 10 м и может монтироваться на установочной площадке или штативе. Настройка антенны автоматическая.

Высокочастотный блок антенны состоит из высокочастотной части, приводов для настройки частоты, приводов для переключения поддиапазонов частот, управляющей части, приводов электродвигателей для автоматической настройки частоты и вращения антенны, поворотной антенной головки для крепления ферритовых стержней и органов управления и настройки.

Технические характеристики антенны FMA6.2 следующие:

1. Диапазон частот 0,1 ... 30 МГц перекрывается восемью поддиапазонами.
2. Погрешность частотной шкалы для ферритовой антенны составляет 2%, для штыревой — 5%.
3. Входное сопротивление равно 75 Ом, КСВ=2.
4. Калибровочное напряжение внешнее с прибора SMV, равно 100 мВ.
5. Пределы измерения напряженности поля равны —8 дБ$+K(f)$—10 В/м, где K — коэффициент поправки (см. табл. 6.7).

Таблица 6.7

Тип антенны	f, МГц	$K(f)$, дБ	
		без усилителя	с усилителем
Ферритовая	0,1	50	32
	3	35	20
	30	40	30
Штыревая	0,1...0,4	37	24
	0,4...1	32	15
	1...5	27	10
	5...30	18	7

6. Погрешность измерений синусоидального и пикового напряжений ±2 дБ, квазипикового ±3 дБ.

7. Настройка частоты ручная и автоматическая. Время настройки 20 с.

8. Вращение антенны ручное и автоматическое, угол поворота равен 380°.

9. Напряжение питания равно 12 В, ток 100...200 мА.

10. Размеры ВЧ блока 245×320×355 мм. Штыревая антенна имеет длину 1 м. Размеры ферритовой антенны 438×∅33 мм.

11. Масса комплекта антенны равна 16 кг.

Эквивалент сети NNB101 в сочетании с селективным микровольтметром предназначен для измерения напряжения радиопомех в полосе 0,15...30 МГц, создаваемых ВЧ установками, двигателями внутреннего сгорания и т. д. Его технические характеристики следующие:

1. Диапазон частот 0,15...30 МГц.
2. Число проводов 2.
3. Максимальная нагрузка по току 10 А.
4. Рабочее напряжение 250 В.
5. Сопротивление ВЧ нагрузки $Z=(150...20)$ Ом, $\varphi=20°$.
6. ВЧ затухание между входом и выходом не менее 30 дБ.
7. Развязка по ВЧ между проводниками не менее 20 дБ.
8. Масса 4,5 кг.

Эквивалент сети NNB102-2 в сочетании с селективным микровольтметром предназначен для измерения напряжения радиопомех, создаваемых источниками с питанием от сети трехфазного тока.

Его технические характеристики следующие:

1. Диапазон частот 0,15...30 МГц.
2. Число проводов 4.
3. Максимальная нагрузка по току каждой ветви 25 А.
4. Максимально допустимое напряжение сети между двумя фазами 430 В, между фазой и «землей» 250 В.
5. Сопротивление ВЧ нагрузки $Z=(150...20)$ Ом, $\varphi=20°$.
6. Затухание между входом и выходом сети при нагрузке 75 Ом не менее 30 дБ.
7. Развязка между проводниками не менее 20 дБ.
8. Габаритные размеры 550×450×190 мм.
9. Масса 25 кг.

Измеритель радиопомех FSM8. В комплект прибора входят [41] селективный микровольтметр SMV8 и измерительные антенны DP1, DP3 и LPA1, изготовляемые фирмой RFT (ГДР).

Селективный микровольтметр SMV8 является высокочувствительным супергетеродинным измерительным приемником, предназначенным для измерения напряжения синусоидальных и импульсных радиопомех в полосе частот 30...1000 МГц. Прибор соответствует ГОСТ 11001—80 1-го класса точности.

Основные технические характеристики селективного микровольтметра следующие. Диапазон частот 30...1000 МГц перекрывается пятью поддиапазона-

ми. Прибор позволяет измерять среднее, пиковое и квазипиковое значения радиопомех. Пределы измерений среднего и пикового значений 0...125 дБмкВ, квазипикового значения импульсных и синусоидальных сигналов 10...80 дБмкВ. Наибольшая погрешность не превышает при измерении импульсных сигналов ±2 дБ, при измерении синусоидальных сигналов ±3 дБ. Входное сопротивление равно 50 Ом, КСВ не более 0,9. Ширина полосы пропускания — регулируемая, равна 120, 20 и 1 кГц.

Избирательность по промежуточной частоте при полосе пропускания 120 кГц на уровне 6 дБ составляет 120±20 кГц, на уровне 40 дБ — менее 300 кГц; при полосе пропускания 20 кГц на уровне 3 дБ 20±5 кГц, на уровне 40 дБ — менее 200 кГц. Ослабление помех по каналу зеркальной частоты не менее 60 дБ, ослабление на промежуточной частоте не менее 70 дБ. Подавление помех от соседнего канала не менее 60 дБ. Снижение уровня помех, вызванных перекрестной модуляцией, не менее 40 дБ. Ослабление составляющих преобразования сигнала на частоте $f_{из}=nf_{гет}\pm f_{ПЧ}$ не менее 60 дБ. Экранирование прибора не менее 60 дБ.

Прибор имеет выходы для подключения самописца, головных телефонов, осциллографа, внешнего генератора, выход промежуточной частоты, а также вход для подключения частоты качания.

Питание прибора возможно от сети переменного тока напряжением 220/110 В частотой 48...62 Гц или 400 Гц (при этом потребляется мощность около 15 В·А) или от батареи постоянного тока напряжением 12 (потребляемый ток равен 300 мА). Габаритные размеры прибора составляют 550×200×400 мм, масса — 22 кг.

Особенностью работы прибора SMV8 является применение метода сравнения при проведении измерений. Для этого используют калибровочный генератор, с выхода которого на вход измерительного приемника подается нормированное напряжение.

Измерительный приемник собран на транзисторах. Он состоит из делителя напряжения высокой частоты, блока высокой частоты с переключателем поддиапазонов, усилителя первой промежуточной частоты и усилителя второй промежуточной частоты с делителем напряжения.

Калибровочный генератор состоит из пяти генераторов, широкополосного усилителя, делителя постоянного тока и регулирующего усилителя.

Измерительная антенна DP1 применяется совместно с несущей конструкцией антенны ATR2 и блоками лифтов FE1 и FE2. Она используется в качестве подвижной антенны для измерения напряженности линейно поляризованного электромагнитного поля в полосе частот 30...300 МГц. Антенна выполнена в виде полуволнового диполя и состоит из антенной головки и двух пар телескопических стержней, рассчитанных на полосы частот 30...142 и 142...300 МГц. Выходное сопротивление антенны равно 50 Ом.

Измерительная антенна DP3 применяется совместно с несущей конструкцией антенны ATR2 и блоком лифта FE2 для тех же целей в полосе частот 300...1000 МГц. Несмотря на широкополосность, усиление и характеристика направленности антенны соответствуют настроенному полуволновому диполю. Антенна состоит из двух конусных излучателей с углами раствора 60°, выполненных из отдельных латунных труб. Выходное сопротивление антенны равно 50 Ом.

Измерительная антенна LPA1 логарифмическая, применяется с несущей конструкцией ATR2 и блоком лифта FE3 для тех же целей в полосе частот 87...1000 МГц. Антенна обладает направленностью, достаточной для определения направления излучения радиопомех. Ее выходное сопротивление равно 50 Ом.

Несущая конструкция антенны ATR2 состоит из штатива, головки и штатива с тремя распорками и антенной мачты. В качестве опоры для антенн применяют блоки лифтов FE1, FE2 и FE3. Лифты перемещаются вертикально с помощью ручного или электрического привода.

С е л е к т и в н ы й   м и к р о в о л ь т м е т р HMV-4 выпускается фирмой «Инко» (ПНР). Он предназначен для измерения синусоидальных напряжений в стационарных и полевых условиях. Прибор может быть использован как ана-

лизатор спектров сигналов и (совместно с измерительной антенной) как измеритель напряженности поля радиопомех.

Основные технические характеристики микровольтметра следующие. Диапазон частот 10 кГц...30 МГц. Пределы измерения напряжения 0,3 мкВ...3 В. Прибор имеет линейную (10 дБ) и логарифмическую (40 дБ) шкалы отсчета. Погрешность установки частоты составляет ±(1%±2 кГц). Погрешность измерения напряжения в пределах 3 мкВ...1 В на линейной шкале составляет $\pm(6+4U_п/U_х)$ %, на логарифмической шкале ±2 дБ. Ширина полосы пропускания на уровне 6 дБ в полосе частот 10...30 кГц составляет 0,3; 1 и 3 кГц, в полосе частот выше 30 кГц — 0,3; 1; 3 и 9 кГц. Входное сопротивление равно 50 Ом. Ослабление помех на частоте зеркального канала и частоте, равной промежуточной, составляет 70 дБ, интермодуляционных помех — 36 дБ. Экранирование равно 60 дБ. Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220/127 В и от батареи с напряжением 10,5...16 В. Потребляемый ток равен 0,35 А, масса — 8 кг. Прибор поставляется в комплекте с измерительным щупом, измерительным и питающим кабелями.

Селективный микровольтметр WMS-4 производится фирмой ИНКО (ПНР). Он предназначен для измерения синусоидального напряжения. Прибор можно использовать в качестве анализатора спектра, измерителя радиопомех, измерителя напряженности поля (с калиброванной измерительной антенной) и измерительного приемника. Калибровка прибора производится по внутреннему калибровочному генератору. Основные технические данные прибора следующие. Диапазон частот 30...300 МГц. Пределы измерения напряжения составляют 0,3 мкВ...1 В. Прибор имеет линейную (10 дБ) и логарифмическую (40 дБ) шкалы. По линейной шкале прибора могут отсчитываться среднее, квазипиковое и пиковое значения. Погрешность измерений при этом в интервале 3 мкВ...1 В составляет $\pm(6+4U_п/U_х)$ %, в интервале 1 мкВ $\pm(10+U_п/U_х)$ %. По логарифмической шкале отсчитываются средние значения, погрешность измерений составляет ±2 дБ. Входное сопротивление равно 50 Ом. Коэффициент стоячей волны равен 1,2...1,5. Ширина полосы пропускания (на уровне — 6 дБ) равна 120 и 20 кГц. Ослабление помех по зеркальному каналу приема составляет не менее 50 дБ, ослабление на частоте, равной промежуточной частоте прибора, —70 дБ, интермодуляционных помех — 36 дБ. Экранирование прибора равно 60 дБ. Питание осуществляется от сети переменного тока с напряжением 220—127/115 В или постоянного тока, равного 0,35 А, с напряжением 10,5...16 В. Масса прибора равна 15 кГц. Прибор может работать в интервале температуре 0...40°С. Селективный микровольтметр WMS-4 соответствует требованиям СИСПР.

Селективный микровольтметр DMS-4 производится фирмой ИНКО (ПНР). Он предназначен для измерения напряжения. Прибор можно использовать в качестве анализатора спектра, измерителя радиопомех, измерителя напряженности поля (с измерительными антеннами) и измерительного приемника. Имеет выход для подключения самопишущего прибора. Питание прибора осуществляется от источников переменного тока частотой 48...450 Гц и постоянного тока напряжением 12 В. Прибор может применяться в полевых (полигонных) условиях. Калибровка прибора осуществляется по внутреннему импульсному генератору. Его основные технические данные следующие. Диапазон частот 300...1000 МГц. Пределы измерения напряжения составляют 1 мкВ...0,1 В, погрешность измерений — 1...1,5 дБ. Входное сопротивление равно 50 Ом. Ослабление помех по зеркальному каналу не менее 50 дБ, ослабление на частоте, равной промежуточной, не менее 70 дБ, ослабление интермодуляционных помех — не менее 36 дБ, КСВ=1,5, масса — 15 кг. Прибор может работать при температуре 0...40°С. Селективный микровольтметр DMS-4 соответствует требованиям СИСПР.

Измеритель радиопомех типа LMZ-4 (диапазон частот 30 кГц...30 МГц) и лабораторный измеритель радиопомех типа ULMZ-3 (диапазон частот 30...300 МГц) имеют пределы измерений соответственно 0,5 мкВ...5 В и 1 мкВ...2 В, входное сопротивление 75 Ом, погрешность измерений ±2 дБ. Ослабление помех по зеркальным каналам приема, помех на частоте, равной промежуточной, интермодуляционных помех, а также экранирование приборов соответствуют требованиям СИСПР.

Абсорбционные клещи (съемник мощности) типа GAMZ-1 совместно с измерителем радиопомех предназначен для непосредственного измерения мощности радиопомех, проходящих от источника в провода электрической сети. Прибор применяют также для измерений эффективности экранирования коаксиальных кабелей и для измерения восприимчивости радиопомех приемными устройствами по проводам питания. Основные технические данные прибора следующие. Диапазон частот 30...300 МГц. Погрешность измерений ±2 дБ, входное сопротивление 75 Ом, рабочий ток 25 А, толщина питающего провода 20 мм. Прибор отличается высокой устойчивостью по отношению к внешним помехам и не требует применения эквивалентов сети при измерении уровней радиопомех.

Дополнительным оборудованием абсорбционных клещей GAMZ-1 является измерительный стол, предназначенный для полуавтоматического передвижения прибора вдоль провода питания измеряемого источника радиопомех. Он имеет направляющие станины для передвижения клещей и шкалу для определения расстояния клещей от испытуемого устройства. Перемещение клещей осуществляется с помощью двигателя. Основные технические данные стола: общая длина 6,25 м, высота 0,9 м, напряжение питания 220 В с частотой 50 Гц, скорости передвижения клещей 0,1 м/с и 0,4 м/с, дистанционное управление, общая масса 22,5 кг.

Искатель радиопомех типа ZSS-1 предназначен для поиска, индикации и измерения напряженности поля радиопомех, создаваемых автотранспортом, имеющим двигатели внутреннего сгорания с искровым зажиганием. Прибор позволяет определить общее состояние помехоподавляющей системы автомобиля, а также источник радиопомех, т. е. обнаружить неисправность помехоподавляющих устройств, их отсутствие и т. д. Прибор применяют на станциях технического обслуживания автотранспорта, ремонтных заводах и в автоинспекции. Основные технические данные: измерительная частота 70 МГц перестраивается в полосе ±0,6 МГц; ширина полосы пропускания на уровне —6 дБ около 150 кГц; чувствительность, соответствующая отклонению стрелки прибора на половину шкалы, 50 мкВ/м; напряжение питания 9 В; масса 3 кг. Комплект состоит из прибора, измерительного щупа и футляра.

6.5. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение напряжения радиопомех, создаваемых электрическими устройствами, средствами проводной связи, высокочастотными установками и светильниками с люминесцентными лампами, проводят на сетевых зажимах устройств, а также на всех выходных зажимах, если они имеются.

Испытуемые источники радиопомех, потребляющие ток менее 25 А, подключают к сети питания через эквивалент сети (см. рис. 6.9) и включают на все время проведения измерения на холостой ход без нагрузки. Исключение составляют устройства, которые по условиям их эксплуатации работают при постоянной нагрузке (насосы, вентиляторы, приборы для нагрева жидкости, стиральные машины и др.). Расположение измерительной аппаратуры, устройств — источников радиопомех и вспомогательного оборудования — должно соответствовать [26] рис. 6.13 для малогабаритных и рис. 6.14 для крупногабаритных устройств.

В первом случае испытуемое устройство *1* размещается на расстоянии 40 см от вертикально расположенного металлического листа *7*, который называют электрическим экраном. Эквивалент сети *2* располагают непосредственно около электрического экрана и соединяют их проводом или шиной длиной не более

20 см. Длина провода питания испытуемого устройства *1* должна быть равна 90 ... 100 см. Если испытуемое устройство имеет провод питания большей длины, то его сворачивают, как показано на рис. 6.13, в виде плоских петель длиной 30 см. Экранирующую

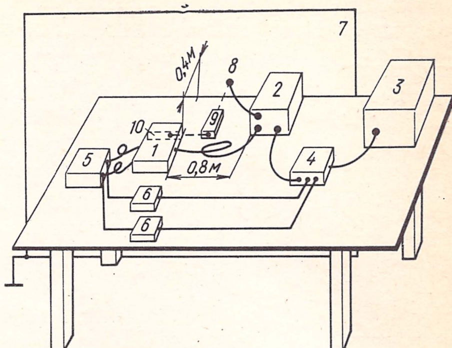


Рис. 6.13. Расположение измерительной аппаратуры и оборудования при измерении напряжения радиопомех, создаваемых малогабаритными источниками:

1 — испытуемое устройство; *2* — эквивалент сети; *3* — измеритель радиопомех; *4* — переключатель фаз; *5* — электрическая нагрузка; *6* — высокоомные разделительные устройства; *7* — металлический лист; *8* — зажим «земля»; *9* — эквивалент руки; *10* — металлическая фольга

оболочку проводов питания устройств подключают к клемме заземления на электрическом экране. Корпус некоторых устройств по условиям работы должен заземляться. Провод заземления таких устройств располагают параллельно проводу питания на рас-

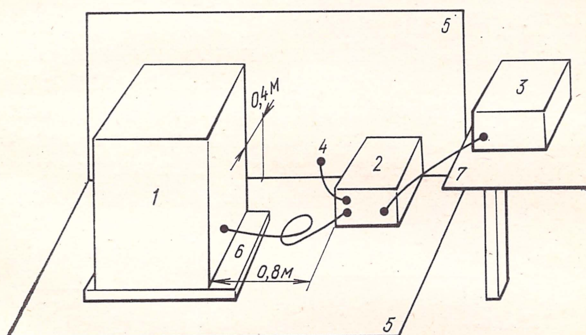


Рис. 6.14. Расположение измерительной аппаратуры и оборудования при измерении напряжения радиопомех, создаваемых крупногабаритными источниками:

1 — испытуемое устройство; *2* — эквивалент сети; *3* — измеритель радиопомех; *4* — зажим «земля»; *5* — металлический лист; *6* — изоляционная подставка; *7* — стол

стоянии не более 10 см от него и заземляют на электрическом экране. Эквивалент руки *9*, если по условию измерения он должен применяться, подключают к клемме заземления электрического экрана следующим образом. Металлический корпус испытуемого устройства соединяют с помощью «эквивалента руки» с клеммой заземления электрического экрана. Корпус испытуемого

устройства, изготовленный из изоляционного материала, обертывают несколькими слоями фольги, шириной 6 см, к которой подключают эквивалент руки. В тех случаях, когда корпус испытуемого устройства металлический, а рукоятки изготовлены из изоляционного материала, эквивалент руки подключают к одной из рукояток, обернутой фольгой. На рис. 6.13 показано размещение измерителя радиопомех *3*, переключателя фаз *4*, нагрузки испытуемого устройства *5* и высокоомных разделительных устройств *6*.

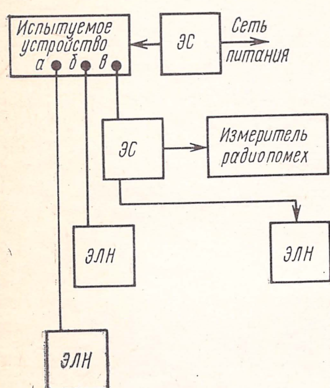


Рис. 6.15. Структурная схема измерительной установки для измерения напряжения радиопомех на линейных зажимах средств связи;
а, *б*, *в* — линейные зажимы

Крупногабаритные устройства устанавливают на подставке из изоляционного материала *6* (см. рис. 6.14), которая располагается на металлическом листе (экране) *5*. При этом выдерживаются расстояния между измерительной аппаратурой и другим оборудованием, указанные на рис. 6.14: между испытуемым устройством *1* и экраном *5*, эквивалентом сети *2* и измерителем радиопомех *3*.

Измерение напряжения радиопомех, создаваемых средствами проводной связи, проводят на зажимах сети питания и на линейных зажимах, если они имеются. В первом случае используют схему рис. 6.9, располагая измерительную аппаратуру, и вспомогательное оборудование, как показано на рис. 6.13. Схема измерения напряжения радиопомех на линейных зажимах средств проводной связи приведена на рис. 6.15. В отличие от схемы измере-

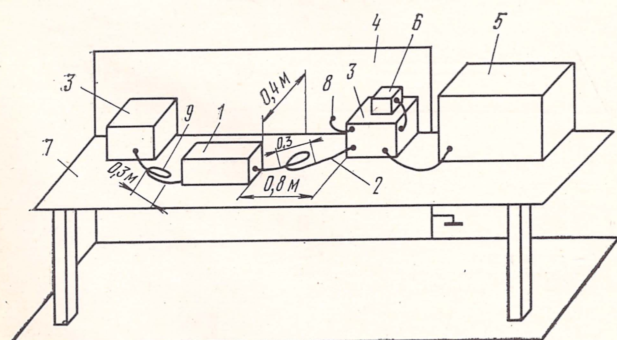


Рис. 6.16. Расположение измерительной аппаратуры и оборудования при измерении напряжения радиопомех на линейных зажимах средств связи:

1 — испытуемое устройство; *2* — линейный провод; *3* — эквивалент сети; *4* — металлический лист; *5* — измеритель радиопомех; *6* — эквивалент линейной нагрузки; *7* — стол из изоляционного материала; *8* — зажим «земля»; *9* — провод питания

ния напряжения радиопомех на зажимах сети питания, она содержит два эквивалента сети ЭС и эквиваленты линейной нагрузки ЭЛН. Расположение аппаратуры и оборудования должно быть таким, как показано на рис. 6.16.

При измерении напряжения радиопомех, создаваемых устройствами регулирования с полупроводниковыми приборами, схему рис. 6.15 дополняют переключателем фаз, который обеспечивает подключение входа измерителя радиопомех к любой фазе на сетевых или выходных зажимах этого устройства. Переключатель фаз (рис. 6.17) содержит два резистора с сопротивлениями 75 Ом и радиочастотный соединитель с волновым сопротивлением 75 Ом. Переключатель фаз к испытуемому устройству подключают через высокоомное разделительное устройство (рис. 6.18), имеющее следующие параметры: $R_1=10$ МОм; $R_2=1$ МОм; $R_3=1{,}5$ кОм; $C_1=0{,}1$ мкФ.

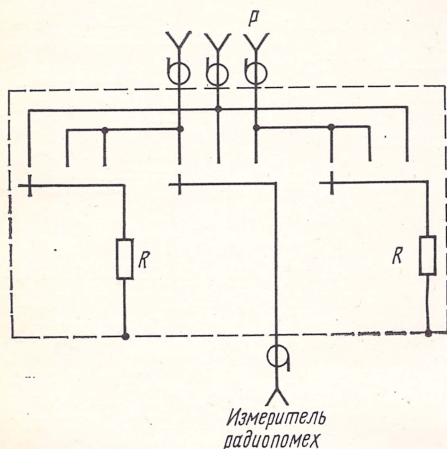


Рис. 6.17. Принципиальная схема переключателя фаз: Р — соединитель радиочастотный с волновым сопротивлением 75 Ом

Измерение напряжения радиопомех, создаваемых устройствами, потребляющими ток более 25 А, проводят на сетевых зажимах этих устройств по схеме, приведенной на рис. 6.19. Она составлена из измерителя радиопомех, переключателя фаз, разде-

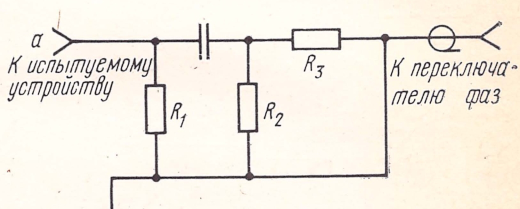


Рис. 6.18. Принципиальная схема разделительного устройства

лительного устройства и соединительных проводов. Разделительное устройство в этом случае (см. рис. 6.18) имеет следующие параметры: $R_1=10$ МОм; $R_2=10$ кОм; $R_3=75$ Ом; $C_1=0{,}1$ мкФ.

Измерение напряжения радиопомех рекомендуется [26] проводить в экранированном помещении (экранированной камере). В этом случае электрический экран, приведенный на схемах рис. 6.13, 6.14 и 6.16, не применяют, а используют вместо него

одну из стен экранированной камеры. Расстояние от испытуемого устройства до других стен, потолка и пола экранированной камеры должно быть не менее 80 см. В остальном схемы измерительных установок не отличаются от рассмотренных.

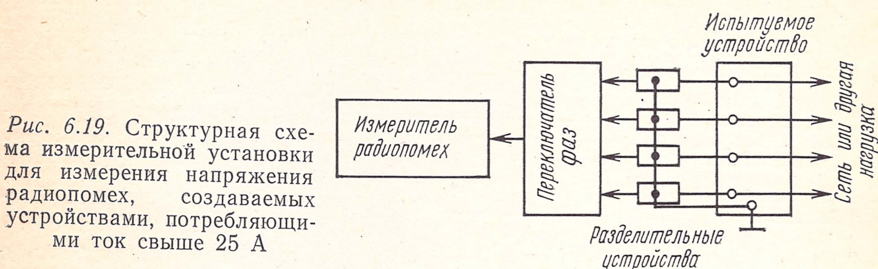


Рис. 6.19. Структурная схема измерительной установки для измерения напряжения радиопомех, создаваемых устройствами, потребляющими ток свыше 25 А

Напряженность поля радиопомех измеряют на открытых площадках, свободных от посторонних переизлучающих предметов. На рис. 6.20 показано расположение измерительной аппаратуры,

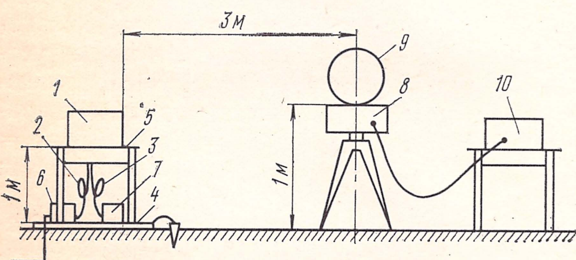


Рис. 6.20. Расположение измерительной аппаратуры и оборудования при измерении напряженности поля, создаваемого малогабаритными устройствами:

1 — испытуемое устройство; *2* — соединительный шнур; *3* — выходной шнур электроустройства; *4* — металлический лист; *5* — поворотная подставка; *6* — эквивалент сети; *7* — нагрузка; *8* — антенная приставка; *9* — рамочная антенна; *10* — измеритель радиопомех

испытуемого малогабаритного устройства и другого оборудования. Крупногабаритные устройства располагают, как показано на рис. 6.21.

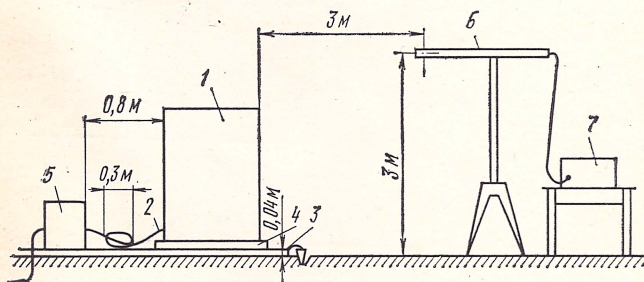


Рис. 6.21. Расположение измерительной аппаратуры и оборудования при измерении напряженности поля, создаваемого крупногабаритными устройствами:

1 — испытуемое устройство; *2* — соединительный шнур; *3* — металлический лист; *4* — подставка; *5* — эквивалент сети; *6* — антенна симметричный диполь; *7* — измеритель радиопомех

Малогабаритные устройства устанавливают на поворотном стенде, позволяющем поворачивать испытуемое устройство на 360°. Поворотный стенд устанавливают на металлическом листе (электрический экран), на котором располагают также эквивалент сети и нагрузку испытуемого устройства, если она имеется.

Крупногабаритные устройства устанавливают на подставке из изоляционного материала, которая находится на электрическом экране, расположенном непосредственно на земле. Провода, соединяющие испытуемое устройство с эквивалентом сети, располагают на электрическом экране горизонтально. Измерительную площадку необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы можно было проводить измерения с трех сторон источника радиопомех. Со стороны эквивалента сети, расположенного на электрическом экране, измерение не проводят.

Измерительную антенну устанавливают на расстоянии 3 м от корпуса источника радиопомех. В полосе частот 0,15 ... 30 МГц измеряют магнитную составляющую напряженности поля радиопомех, используя для этого вертикальную рамочную антенну, нижняя точка которой должна находиться на высоте 1 м над землей. Исключение составляют высокочастотные установки, напряженность поля радиопомех которых определяют путем измерения вертикальной составляющей электрического поля. В качестве измерительной антенны в этом случае применяют штырь длиной 1 м, расположенный на высоте 1 м. Кроме того, измеряют горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля, создаваемого высокочастотными установками. В полосе 30 ... 300 МГц измеряют электрическую составляющую напряженности поля радиопомех, используя для этой цели (см. рис. 6.21) симметричный диполь с центром, расположенным на высоте 3 м, при вертикальном и горизонтальном положениях измерительной антенны.

Измерение напряженности поля, которое создается источниками радиопомех, потребляющими ток более 25 А, проводят без эквивалента сети.

Необходимо подчеркнуть, что при всех положениях источника радиопомех, измерительной антенны и других пробах за результат измерения следует принимать наибольшее полученное значение.

Измерение напряженности поля радиопомех, создаваемого устройствами с двигателями внутреннего сгорания, проводят на нескольких частотах, используя специальные площадки. Испытуемое устройство должно находиться в рабочем положении. Двери, капот, багажник и другие открывающиеся элементы устройства должны быть закрыты. Двигатель внутреннего сгорания устройства перед проведением измерения прогревают до номинальной рабочей температуры. У тех двигателей, у которых в процессе эксплуатации частота вращения коленчатого вала изменяется, измерение квазипиковых значений напряженности поля радиопомех проводят при постоянной частоте вращения вала, равной для одноцилиндровых двигателей 2500±370 об/мин, а для многоци-

линдровых — 1500±220 об/мин. Измерение пиковых значений напряженности поля радиопомех можно проводить при любой частоте вращения коленчатого вала. Бесколесные испытуемые устройства помещают на изоляционной подставке, установленной на высоте 20 см.

На рис. 6.22 приведено расположение измерительной антенны при измерении напряженности поля радиопомех, создаваемых автомобилями.

Измерительную антенну располагают напротив центра двигателя на расстоянии 10 м перпендикулярно прямой, соединяющей центр двигателя с центром антенны. Располагая измерительную антенну таким образом, измерения проводят с четырех сторон. В каждой точке измеряют вертикальную и горизонтальную электрические составляющие напряженности поля радиопомех, используя для этого симметричный диполь, установленный на высоте 3 м над поверхностью земли. Измерение проводят при отсутствии атмосферных осадков.

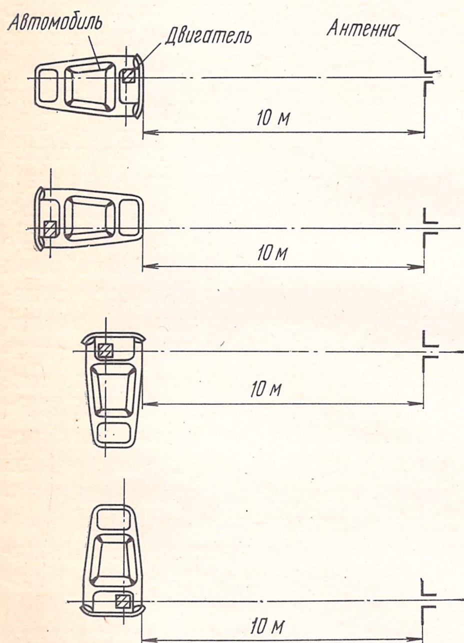


Рис. 6.22. Расположение измерительной антенны при измерении напряженности поля радиопомех, создаваемых автомобилями

Измерение напряженности поля радиопомех, создаваемого электроподвижным составом городского и железнодорожного транспорта, проводят в установившемся и переходном режимах. В полосе частот 0,15...30 МГц измеряют магнитную составляющую напряженности поля радиопомех с помощью вертикальной рамочной антенны, нижняя точка которой находится на высоте 1 м над поверхностью земли. В полосе частот 30...300 МГц измеряют горизонтальную электрическую составляющую напряженности поля радиопомех с помощью симметричного диполя, центр которого находится на высоте 3 м над поверхностью земли.

В установившемся режиме измерения напряженности поля радиопомех проводят в рабочем положении подвижного состава. Измерительную антенну устанавливают между опорами в середине пролета на расстоянии 10 м от оси пути и ориентируют ее параллельно контактному проводу. Скорость движения железнодорожного электротранспорта во время проведения измерения

должна быть постоянной и составлять 60 ... 100 км/ч, а городского электротранспорта — 30 ... 40 км/ч. Значения напряженности поля радиопомех фиксируют по наибольшему показанию измерителя радиопомех при прохождении подвижным составом участка пути, равного 100 м до и после измерительной антенны.

При измерении напряженности поля радиопомех в переходных режимах работы электротранспорта соответствующий переход из одного режима в другой осуществляют при прохождении подвижным составом места установки измерительной антенны.

При измерении напряженности поля радиопомех, создаваемого контактным проводом, измерительную антенну поворачивают вокруг вертикальной оси и фиксируют максимальное показание измерителя радиопомех.

Измерение напряженности поля радиопомех, создаваемого другими источниками радиопомех, проводят на расстоянии 10 м от источника (например, от территории тяговой подстанции).

Измерение напряженности поля, создаваемого линиями электропередач и их силовыми подстанциями, проводят при различных погодных условиях и в различное время года. В полосе частот 0,15 ... 30 МГц измеряют магнитную составляющую напряженности поля с помощью вертикальной расположенной рамочной антенны, нижняя точка которой находится на высоте 1 м над поверхностью земли. В полосе частот 30 ... 1000 МГц измеряют электрическую составляющую напряженности поля с помощью установленного на высоте 3 м полуволнового диполя, вращающегося вокруг горизонтальной и вертикальной осей.

Площадку для проведения измерения напряженности поля радиопомех, создаваемого линиями электропередач, выбирают на середине между двумя опорами, не ближе 2 км от подстанции. Измерительную антенну устанавливают на расстоянии 10, 50 или 100 м от проекции на землю крайнего провода (в зависимости от напряжения ЛЭП). Во время измерения антенну поворачивают в вертикальной и горизонтальной плоскостях, ориентируя ее на опору ЛЭП, до получения максимальных показаний. Напряженность поля радиопомех, создаваемого подстанциями ЛЭП, измеряют в нескольких точках вокруг подстанции на расстоянии 10, 50 или 100 м в зависимости от напряжения, которое должно быть ниже 35, 110 и 220 кВ и выше 330 кВ соответственно. Антенну измерителя радиопомех ориентируют параллельно границе подстанции и поворачивают вокруг вертикальной оси до получения максимальных показаний. При проведении измерений на расстоянии 50 и 100 м чувствительность измерителя радиопомех может оказаться недостаточной. В этих случаях измерение можно проводить на близких (не более 10 м) расстояниях, но полученные результаты следует пересчитать по формуле

$$E_{\text{н}} = E_R + 20 \lg \sqrt{(h^2 + R^2)/(h^2 + R^2_{\text{н}})}, \qquad (6.12)$$

где $E_{\text{н}}$ — напряженность поля на нормированном (50 или 100 м) расстоянии, мкВ/м; R — расстояние от ЛЭП (подстанции) до из-

мерительной антенны, м; E_R — напряженность поля, измеренная на расстоянии R, мкВ/м; h — высота подвеса провода ЛЭП, м.

Следует отметить, что напряженность поля радиопомех, создаваемого ЛЭП и их подстанциями, значительно изменяется во времени. Поэтому окончательный результат можно получить путем статистической обработки значений, полученных при многократных измерениях. Обычно для этой цели используют формулу

$$E_{0,8} = E + kV, \qquad (6.13)$$

где $E_{0,8}$ — статистическое значение напряженности поля радиопомех, мкВ/м, на уровне вероятности 0,8; $\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} E_i$ — выборочное среднее значение результатов измерений; n — число измерений в данной точке; E_i — i-й результат на данной частоте; k — коэффициент выборки измеренных значений, приведенный ниже в таблице.

n	6	7	8	9	10	11	12	15	20	25	30	45	100
k	1,42	1,34	1,30	1,27	1,24	1,21	1,20	1,17	1,12	1,09	1,07	1,06	0,84

Как видно из таблицы, число измерений в одной точке на каждой частоте должно быть не менее шести.

Измерение мощности радиопомех с помощью поглощающих клещей. Рассмотренные методы измерения напряженности поля радиопомех для ряда источников можно заменить одним эквивалентным методом измерения мощности с помощью поглощающих клещей. К таким источникам относятся устройства бытового назначения с электродвигателями, включая электроинструмент. Для проведения измерения собирают измерительную установку, состоящую из поглощающих клещей, измерителя радиопомех и испытуемого устройства ИУ, которые располагают на столе длиной не менее 6 м, высотой 0,6 ... 0,8 м и шириной 0,8 м. Источник радиопомех подключают к сети через удлинительный шнур, который размещают по всей длине стола ровно, без изгибов. После этого шнур питания укладывают в поглощающие клещи, подключенные к измерителю радиопомех. Настраивают измеритель радиопомех на частоту измерения и, передвигая поглощающие клещи от источника радиопомех вдоль провода, отыскивают максимум показания измерителя радиопомех. Значение мощности индустриальных радиопомех P определяют по формуле

$$P = P_{\text{и.п}} + K, \qquad (6.14)$$

где $P_{\text{и.п}}$ — максимальное показание измерителя радиопомех, дБ; K — значение калибровки поглощающих клещей, дБ.

В некоторых случаях измерение можно проводить на втором максимуме, который находят при дальнейшем перемещении поглощающих клещей вдоль шнура питания источника радиопомех. К рассчитанному по (6.15) значению в этом случае следует прибавить один децибел.

Измерение мощности радиопомех с помощью поглощающих клещей проводят, как правило, в экранированной камере. При измерении на открытой площадке после нахождения и регистрации первого или второго максимума необходимо выключить источник радиопомех и убедиться в том, что уровень посторонних радиопомех был бы по меньшей мере на 10 дБ ниже измеренного значения. В противном случае в схему рис. 6.23 необходимо включить на расстоянии 4 м от источника второй комплект клещей и повторить измерение.

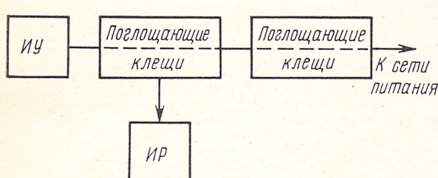


Рис. 6.23. Структурная схема измерительной установки для измерения радиопомех с помощью поглощающих клещей

Общая погрешность измерения мощности радиопомех с помощью поглощающих клещей составляет 3,5 дБ. В нее входит погрешность рассогласования поглощающих клещей и измерителя радиопомех. Для уменьшения погрешности измерения необходимо градуировать поглощающие клещи на всех частотах измерения радиопомех при различных положениях входного аттенюатора измерителя радиопомех.

Калибровку поглощающих клещей производят с помощью генератора сигналов по схеме, приведенной на рис. 6.24, методом замещения. Для этого в геометрический центр электрического экрана размером 2,6×2,6 м встраивают коаксиальный переход.

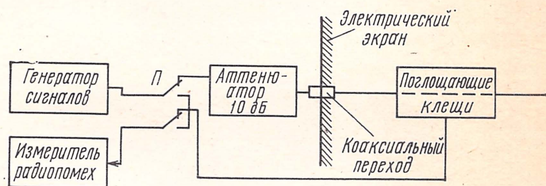


Рис. 6.24. Структурная схема калибровки поглощающих клещей

К одной клемме этого перехода подключают удлинительный шнур, на который надевают поглощающие клещи. К другой клемме подключают аттенюатор на 10 дБ и к нему через переключатель П — измеритель радиопомех и генератор сигналов. Настраивают генератор сигналов и измеритель радиопомех на частоту предстоящего измерения, подключают измеритель радиопомех к поглощающим клещам, а генератор сигналов — к измерительной линии. Измеряют напряжение $U_{п.к}$. Затем подключают измеритель радиопомех к генератору сигналов и измеряют напряжение на его выходе $U_{г.с}$. Напряжение, вносимое трактом от измерителя радиопомех до коаксиального разъема, рассчитывают по формуле

$$K = 20\lg(U_{г.с}/U_{п.к}) - 10. \quad (6.15)$$

Это напряжение записывают в таблицу калибровки поглощающих клещей на данной частоте при данном положении входного аттенюатора измерителя радиопомех.

Глава седьмая

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ РАДИОПРИЕМНИКАМИ

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Радиоприемное устройство супергетеродинного типа является источником радиопомех для других близко расположенных приемников. Например, телевизионный приемник содержит несколько помехообразующих элементов. К ним относятся: каскад строчной развертки, состоящий из отклоняющей системы, выходного трансформатора, лампы и монтажа; выходная цепь усилителя сигналов изображения, селектор; усилитель синхроимпульсов, дискриминатор и др. Каждый из этих источников радиопомех создает магнитное и электрическое поля, которые в результате сложения образуют суммарное электромагнитное поле. Напряженность такого поля зависит от фазовых и амплитудных соотношений векторов полей отдельных источников. Кроме того, высокочастотные потенциалы и токи возникают в таких элементах схемы телевизора, как силовой трансформатор, шасси и др.

Наиболее опасными с точки зрения возникновения радиопомех в телевизоре являются связи помехообразующих элементов с электрической сетью и антенным кабелем. Гармоники строчного импульса проникают в электросеть, питающую телевизор, а следовательно, создают радиопомехи другим телевизорам и приемникам, питающимся от этой же сети вследствие недостаточной фильтрации анодных цепей каскадов строчной развертки, взаимоиндукции сетевой обмотки силового трансформатора со строчным трансформатором и отклоняющими катушками и т. д.

Таким образом, телевизионный приемник как источник радиопомех воздействует на другие радиоприемные устройства посредством электромагнитного поля излучения элементами схемы, через электросеть питания и антенный кабель.

Количественный анализ электрической и магнитной составляющих поля радиопомех телевизора свидетельствует, что спектр радиопомех, частоты которых кратны основной частоте строчной развертки 15 625 кГц, имеет дискретный характер. Интенсивность радиопомех уменьшается с увеличением частоты, а также расстояния между телевизором и измерительной антенной. На расстоянии 2 м на частотах выше 1 МГц магнитная составляющая, а на частотах выше 2,5 МГц электрическая составляющая становятся пренебрежительно малыми величинами. Диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях имеют случайный характер с разницей между минимумом и максимумом около 15 ... 20 дБ. Величина напряжения радиопомех на сетевых клеммах телевизоров может достигать 50 ... 60 дБмкВ, а на антенных клеммах 60 ... 70 дБмкВ.

Супергетеродинные радиовещательные и профессиональные радиоприемные устройства также являются источниками радиопомех другим приемникам из-за электромагнитного поля, создаваемого излучениями с частотой гетеродина или его гармоник или из-за напряжения, проникающего по электросети.

Для снижения уровней радиопомех, создаваемых телевизионными и радиовещательными приемниками, как у нас в стране, так и в международном масштабе установлены соответствующие нормы радиопомех.

7.2. НОРМИРОВАНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ РАДИОПРИЕМНИКАМИ

Нормирование радиопомех от телевизионных и вещательных радиоприемников в нашей стране начато с 1962 г. В 1976 г. введены в действие переработанные Общесоюзные нормы допускаемых индустриальных радиопомех от телевизионных и УКВ ЧМ радиовещательных приемников (Нормы 10-74) [27], а с 1978 г. введены в действие Общесоюзные нормы допускаемых индустриальных радиопомех от радиовещательных приемников с амплитудной модуляцией (Нормы 12-76) [28].

В нормах [27] установлены допускаемые значения напряжения радиопомех на сетевых клеммах в полосе частот 150 ... ... 1605 кГц для симметричного и несимметричного напряжений телевизионных приемников цветного и черно-белого изображений.

Допускаемое значение симметричного напряжения радиопомех не должно превышать 59 дБ (напряжение 0 дБ соответствует 1 мкВ) на частоте 150 кГц и 46 дБ в полосе 500 ... 1605 кГц. Допускаемое значение несимметричного напряжения телевизионных приемников цветного изображения соответственно равно 56 и 52 дБ, а для телевизионных приемников черно-белого изображения 52 дБ во всей нормируемой полосе частот 150 ... 1605 кГц, которая выбрана с учетом защиты от радиопомех радиовещательных приемников диапазонов километровых и гектометровых волн.

Напряжение радиопомех на антенных клеммах телевизионных приемников не нормируется, хотя оно на 10 дБ превышает напряжение на сетевых клеммах. Однако коэффициент связи антенны с электрической сетью на 20 ... 25 дБ меньше коэффициента связи сетевых клемм с электрической сетью и выполнение норм, установленных для сетевых клемм, обеспечивает необходимую защиту электросети от радиопомех, поступающих через антенную цепь.

Нормами [27] устанавливается также напряженность поля радиопомех, создаваемых гетеродинами телевизионных и УКВ ЧМ радиовещательных приемников в полосе частот 30 ... 1000 МГц. Допускаемое значение напряженности поля радиопомех на частотах гетеродинов телевизионных приемников установлено равным 54 ... 66 дБ (напряженность поля 0 дБ соответствует 1 мкВ/м), а на частотах гармоник этих гетеродинов 52 ... 56 дБ. На частотах ге-

теродинов и их гармоник УКВ ЧМ радиовещательных приемников напряженность поля не должна превышать 43,5 дБ.

Нормами [28] установлены допускаемые значения радиопомех, создаваемых радиовещательными приемниками с амплитудной модуляцией в полосе частот 150 кГц ... 30 МГц: напряжение радиопомех на антенных клеммах стационарных приемников в полосе частот 600 кГц ... 30 МГц не должно превышать 80 дБ; несимметричное напряжение на сетевых клеммах стационарных и переносных приемников, получающих питание от электросети, не должно превышать 70 дБ, а симметричное в полосе частот 150 ... 1605 кГц — 46 дБ; напряженность поля, создаваемого переносными приемниками в полосе частот 600 кГц ... 30 МГц, не должна превышать 70 дБ; ток в штыревой антенне переносных приемников в полосе частот 4 ... 30 МГц не должен превышать 20 дБмкА.

Нормы [27 и 28] имеют целью защитить телевизионные и радиовещательные приемники от индустриальных радиопомех, возникающих в близко расположенных аналогичных приемниках.

7.3. ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫМИ И УКВ ЧМ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ

Как указывалось в § 7.1, величину радиопомех определяют по измеренному напряжению на сетевых клеммах и напряженности поля этих радиопомех.

Измерение напряжения на сетевых клеммах телевизионных приемников проводят в экранированной камере, имеющей ширину и высоту 2,5 м и длину не менее 3,3 м. Порядок размещения и состав измерительной аппаратуры приведен на рис. 7.1, из которого следует, что кроме измерителя радиопомех ИР и эквивалента сети ЭС в измерительную установку входят фильтр Ф и две антенны.

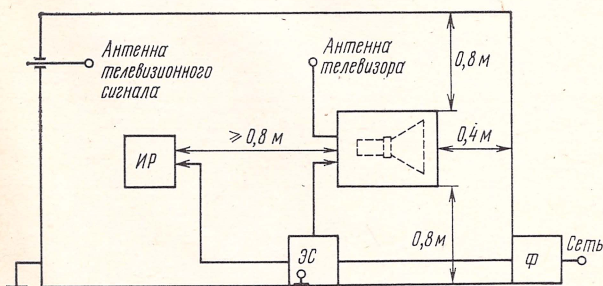


Рис. 7.1. Расположение аппаратуры при измерении напряжения радиопомех на сетевых клеммах телевизионных приемников

Фильтр в сети питания обеспечивает затухание в полосе частот 150 ... 1605 кГц не менее 30 дБ. Такое же экранирование в указанной полосе частот должна иметь экранированная камера. Антенна телевизионного приемни-

ка представляет собой симметричный диполь длиной 0,6 м, соединенный с телевизионным приемником коаксиальным кабелем длиной не более 1,5 м. Антенна для подачи в экранированную камеру телевизионного сигнала также выполнена в виде симметричного диполя.

В схеме рис. 7.1 применен эквивалент сети Δ-образного типа, имеющий высокочастотный выход. Принципиальная схема эквивалента сети приведена на рис. 7.2. Элементы схемы (*R, L, C*) выбирают такими, чтобы реактивное и активное сопротивления соответствовали требованиям ГОСТ 11001—80 для Δ-образного эквивалента. Схема имеет симметрирующий трансформатор Тр. Испытуемый приемник подключают к клеммам $Кл_1$ и $Кл_2$. В положении *1—1* переключателя П измеряют симметричную, а в положении *2—2* несимметричную составляющие напряжения радиопомех.

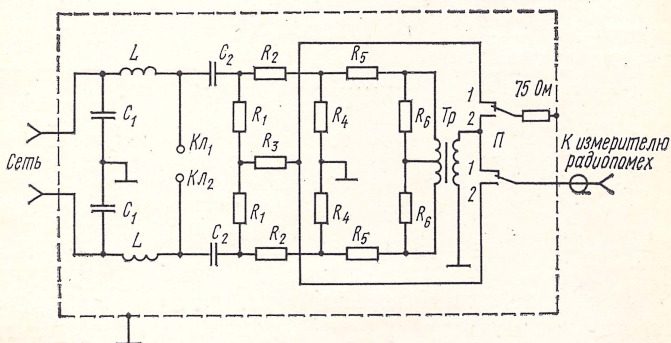


Рис. 7.2. Принципиальная схема Δ-образного эквивалента сети с высокочастотным выходом

Телевизионный приемник устанавливают на подставке из изоляционного материала на высоте 0,8 м от пола и на расстоянии 0,4 м от боковых стенок экранированной камеры. Порядок расположения остальных приборов показан на рис. 7.1.

При проведении измерения телевизионный приемник включают, а в экранированную камеру подают тест-сигнал от генератора или сигнал местного телецентра. Телевизионный приемник настраивают на изображение испытательной таблицы, которое должно быть устойчивым и без помех. Яркость и контрастность регулируют так, чтобы можно было различить на экране не менее восьми градаций контрастности.

Измерение напряжения радиопомех проводят на частотах гармоник строчной частоты. Нормами [27] рекомендуется проводить измерения не менее чем на пяти частотах гармоник строчной частоты в полосе частот 150 . . . 350 кГц и не менее чем на 10 частотах в полосе 350 .. 1605 кГц.

Измерение напряженности поля радиопомех, создаваемого гетеродинами телевизионных и УКВ ЧМ радиовещательных приемников, проводят на открытой площадке размером не менее 6×9 м, свободной от посторонних предметов, которые могли бы стать источниками переизлучения. Расположение измерительной аппаратуры и оборудования показано на рис. 7.3.

Как и в предыдущем случае, измерение проводят при правильно настроенном телевизионном или радиовещательном приемнике,

который устанавливают на поворотном стенде, выполненном из изоляционного материала. При этом активный элемент гетеродиан (транзистор, лампа) должен находиться на высоте 1 м от пола. Центры измерительной антенны A_2 и антенны испытуемого

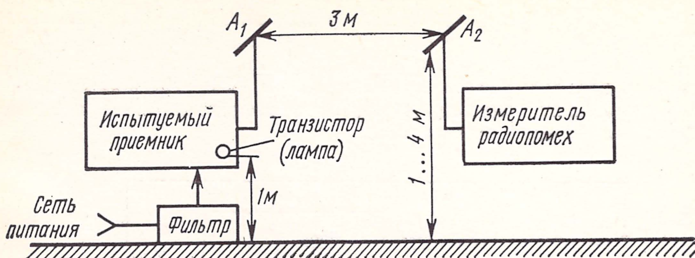


Рис. 7.3. Расположение измерительной аппаратуры при измерении напряженности поля радиопомех от телевизионных и УКВ ЧМ радиовещательных приемников

приемника A_1 должны находиться в одной вертикальной плоскости. Плоскость экрана телевизора (передней стенки радиовещательного приемника) должна быть расположена параллельно диполю антенны A_2. Если испытуемый приемник не имеет гнезд для подключения внешней антенны, то измерение радиопомех в этом случае проводят со встроеннной антенной. Антенна испытуемого приемника A_1 устанавливается горизонтально и параллельно измерительной антенны A_2 на расстоянии 3 м от нее. Необходимо, чтобы основание антенны приемника A_1 и центр измерительной антенны A_2 находились в одной вертикальной плоскости.

Измерение напряженности поля радиопомех проводят на основных частотах гетеродинов и их гармоник. Для этого плавно изменяют высоту подъема измерительной антенны A_2 от 1 до 4 м, находят положение, при котором измеритель радиопомех показывает максимальное значение. Затем поворачивают стенд вместе с приемником и антенной A_1 в горизонтальной плоскости и находят положение, при котором создается наибольшая напряженность поля радиопомех. Снова изменяют высоту измерительной антенны A_2. Наибольшее значение, показанное измерителем радиопомех, принимается за напряженность поля радиопомех, создаваемых гетеродином приемника на данной частоте. Затем перестраивают измеритель радиопомех на другую частоту гетеродина и таким же порядком проводят измерение напряженности поля радиопомех.

7.4. ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫМИ ПРИЕМНИКАМИ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Как уже указывалось, радиовещательные приемники создают радиопомехи для близко расположенных аналогичных радиопри-

емников. Поэтому важно не только регламентировать эти радиопомехи, но и правильно провести их измерение.

Величину радиопомех, создаваемых радиовещательными приемниками, определяют [28] по измеренному напряжению на антенных и сетевых клеммах стационарных приемников, установленных в квартирах радиослушателей, и по напряженности поля и току в штыревой антенне переносных приемников.

Измерения проводят измерителями радиопомех, которые были рассмотрены в гл. 6 с применением эквивалента сети Δ-образного типа, принципиальная схема которого приведена на рис. 7.2. Измерения проводят в экранированной камере, обеспечивающей экранирование в полосе частот 0,15...30 МГц не менее 50 дБ. Минимальные размеры экранированной камеры: высота и ширина 2,5 м, длина 3,3 м.

Измерение напряжения радиопомех на сетевых и антенных клеммах стационарных радиовещательных приемников проводят с помощью измерительной установки, состоящей из измерителя радиопомех, эквивалента сети, эквивалента внешней антенны и заземления, высокоомной приставки и испытуемого приемника. Размещение перечисленной аппаратуры приведено на рис. 7.4.

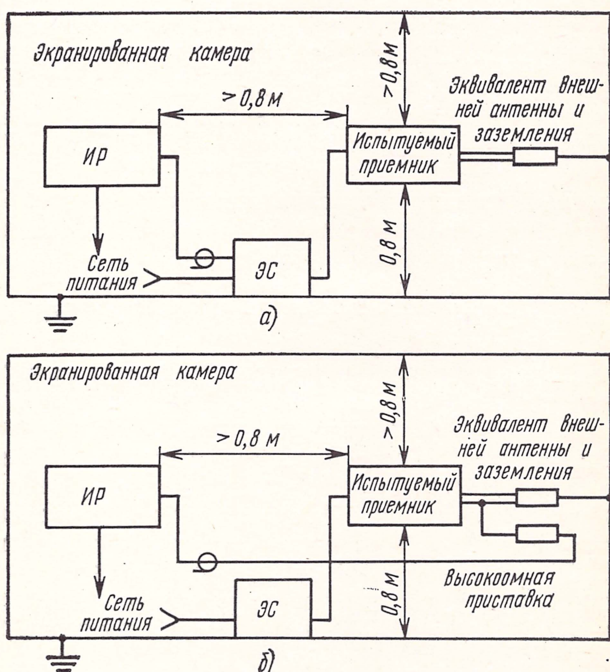


Рис. 7.4. Расположение аппаратуры в экранированной камере при измерении напряжения радиопомех на сетевых (*а*) и антенных (*б*) клеммах:

ИР — измеритель радиопомех; ЭС — эквивалент сети

Схема эквивалента внешней антенны и заземления приведена на рис. 7.5. Элементы схемы имеют следующие номиналы: $R_1+R_i=80$ Ом; R_2 — 320 Ом; R_3 — 600 Ом; R_4 — 40 Ом; C_1 — 125 пФ; C_2 — 400 пФ; C_3 — 267 пФ; L_1 — 20 мкГ; L_2 — 30 мкГ; L_3 — 2 мкГ. Допустимое отклонение приведенных значений номиналов не должно превышать ±10%. К клемме $Кл_1$ подключают «землю», к $Кл_2$ — антенну испытуемого приемника, к $Кл_3$ — заземление приемника.

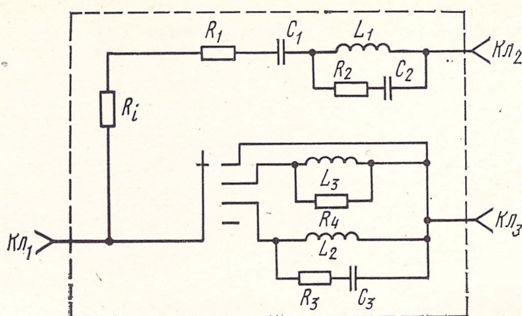


Рис. 7.5. Принципиальная схема эквивалента внешней антенны и заземления

Высокоомная приставка должна иметь активную составляющую входного сопротивления при сопротивлении нагрузки 750 Ом не менее 2,5 кОм и входную емкость не более 10 пФ. В качестве высокоомной приставки можно использовать пробник типа ТК103, входящий в комплект измерителя радиопомех FSM6.A3. Схема пробника приведена на рис. 7.6.

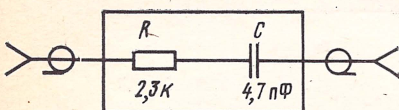


Рис. 7.6. Принципиальная электрическая схема пробника ТК103

Испытуемый приемник устанавливают (см. рис. 7.4) на подставке из изоляционного материала высотой 0,8 м. Приемник консольного типа устанавливают так, чтобы его геометрический центр находился на высоте 1 м от земли. Эквивалент внешней антенны и заземления подключают к клеммам «Антенна» и «Земля» испытуемого приемника проводами длиной не более 0,05 м. Длина провода, соединяющего эквивалент внешней антенны и заземления с клеммой «Земля» экранированной камеры, должна быть не более 0,4м. Сетевой провод приемника прокладывают вертикально вниз к эквиваленту сети. По схеме рис. 7.4*а* измеряют симметричное и несимметричное напряжения радиопомех на сетевых клеммах приемника. Для этого переключатель П эквивалента сети (см. рис. 7.2) ставят соответственно в положение *1—1* или *2—2*. По схеме рис. 7.4*б* измеряют напряжение радиопомех на антенной клемме испытуемого приемника. Для этого к клемме *2* эквивалента внешней антенны и заземления (см. рис. 7.5) подключают высокоомную приставку, а к ней измеритель радиопомех.

Измерение напряжения радиопомех проводят при всех положениях переключателя эквивалента внешней антенны и заземления. За результат измерения принимают наибольшие показания

измерителя радиопомех. При проведении измерений расстояние между оператором и ближайшей поверхностью испытуемого приемника не должно превышать 0,8 м.

Измерение напряженности поля радиопомех проводят также в экранированной камере. Схема расположения аппаратуры и оборудования приведена на рис. 7.7. Испытуемый приемник устанавливают так, чтобы его геометрический центр находился на высоте 1 м от пола. При этом измерительная антенна должна находиться на расстоянии 1 м от геометрического центра приемника, а ось ферритовой измерительной антенны должна проходить через геометрический центр приемника. Если применяют рамочную измерительную антенну, то центр рамки и геометрический центр испытуемого приемника должны находиться на одной горизонтальной оси на расстоянии 1 м друг от друга. Во время измерения испытуемый приемник поворачивают вокруг вертикальной оси, проходящей через его геометрический центр, и находят опытным путем положение, при котором фиксируется наибольшее показание измерителя радиопомех.

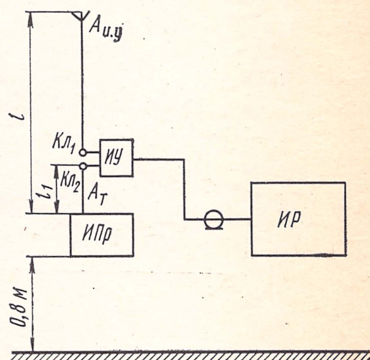


Рис. 7.8. Структурная схема установки для измерения тока радиопомех в антенне переносного вещательного радиоприемника

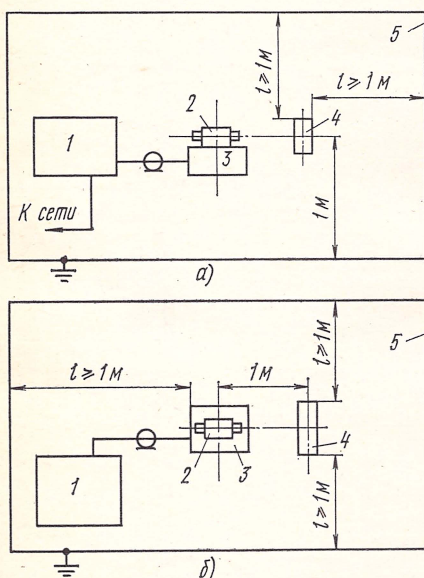


Рис. 7.7. Расположение аппаратуры в экранированной камере при измерении напряженности поля радиопомех от приемников с амплитудной модуляцией:

а — вид сбоку; *б* — вид сверху

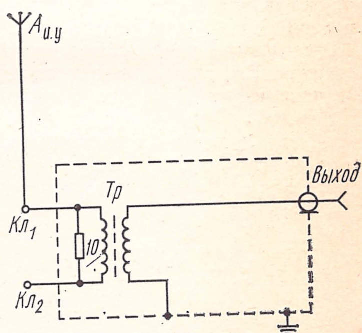


Рис. 7.9. Структурная схема измерительного устройства

Измерение тока радиопомех в антенне переносного радиовещательного приемника проводят с помощью измерительной установки, состоящей из измерителя радиопомех ИР, измерительного устройства ИУ и испытуемого приемника ИПр, схема которой приведена на рис. 7.8.

Измерительное устройство ИУ состоит из трансформатора и телескопической антенны. Схема устройства приведена на рис. 7.9. К клемме $Кл_1$ подключают телескопическую антенну, к $Кл_2$ — испытуемый приемник ИПр и к выходу — измеритель радиопомех ИР.

Конструкция трансформатора измерительного устройства показана на рис. 7.10. Трансформатор выполнен на тороидальном ферритовом сердечнике *1*. Первичная обмотка намотана проводом литцендрат ПЭВ 3×0,06, имеет шесть

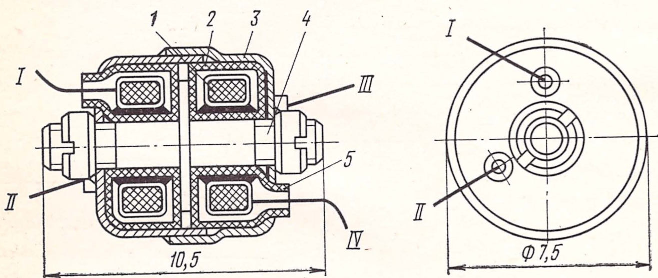


Рис. 7.10. Трансформатор измерительного устройства:

1 — тороидальный ферритовый сердечник; *2* — крышка из полиэтиленовой пленки; *3* — внешний экран; *4* — шпилька-экран; *5* — корпус; *I—II* — выводы первичной и *III—IV* — вторичной обмоток трансформатора

витков и выведена на клеммы *I—II*. Индуктивность первичной обмотки в собранном виде составляет 0,5 мкГ. Вторичная обмотка выполнена проводом ПЭВТЛ 0,12, имеет 52 витка и выведена на клеммы *III—IV*. Индуктивность между проводами *III—IV* составляет 9 мкГ. Трансформатор имеет крышку из полиэтиленовой пленки *2*, внешний экран *3*, шпильки экрана *4* и корпус из сополимера *5*.

Телескопическая антенна измерительного устройства соответствует антенне, применяемой в испытуемом устройстве. Коэффициент калибровки измерительного устройства не должен превышать 8 дБ, а погрешность — 2 дБ.

Установка для определения коэффициента калибровки измерительного устройства (рис. 7.11) состоит из генератора сигналов ГС, милливольтметра с термопреобразователем Тп, измерительного устройства ИУ и селективного микровольтметра. Сначала калибруют термопреобразователь по постоянному току.

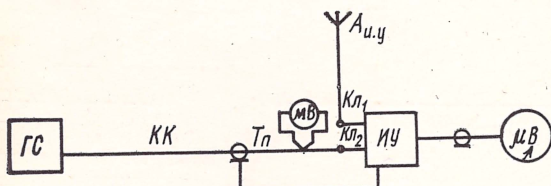


Рис. 7.11. Структурная схема установки для определения коэффициента калибровки измерительного устройства

Для этого с помощью реостата (рис. 7.12) по миллиамперметру устанавливают ток I_0, близкий к номинальному паспортному току термопреобразователя Тп, т. е. (0,7 ... 0,9) $I_{ном}$, и регистрируют соответствующее ему показание милливольтметра U_0.

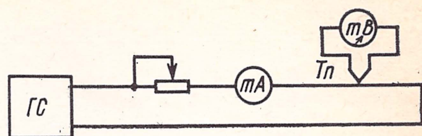


Рис. 7.12. Схема калибровки термопреобразователя

Далее от генератора сигналов ГС (см. рис. 7.11) на клемму $Кл_2$ первичной обмотки трансформатора измерительного устройства подают через термопреобразователь Тп напряжение высокой частоты, соответствующей предстоящему измерению. В нормах [12—76] номиналы этих частот равны: 160, 250, 400, 560 кГц; 1,0; 1,4; 4,0; 6,1; 7,2; 9,6; 11,8 МГц. Вторичная обмотка трансформатора измерительного устройства через выходную клемму подключена к селективному микровольтметру, настроенному на частоту генератора сигналов. Длина проводов, соединяющих термопреобразователь и $Кл_2$ и оплетку коаксиального кабеля КК с корпусом измерительного устройства, должна быть не более 0,1 м. Уровень сигнала генератора ГС устанавливают таким образом, чтобы показание милливольтметра равнялось значению U_0, установленному при калибровке термопреобразователя. В этом положении фиксируют показание селективного микровольтметра U_1, мкВ. Коэффициент калибровки измерительного устройства определяют по формуле $K_{изм}=20\lg(I_0/U_1)$, где I_0 — ток, мкА, установленный при калибровке термопреобразователя по схеме на рис. 7.12.

Погрешность калибровки определяется по формуле $\delta=K-K_{изм}$, где K — значение коэффициента калибровки, указанное в техническом описании измерительного устройства, дБ.

После определения коэффициента калибровки измерительного устройства приступают к измерению тока радиопомех в антенне переносного радиовещательного приемника. Измерение проводят в экранированной камере. Испытуемый приемник устанавливают на подставке из изоляционного материала высотой 0,8 м. Расстояние от антенны $А_{и.у}$ (рис. 7.8) до любых предметов и поверхностей из токопроводящего материала, а также до стен и потолка экранированной камеры должно быть не менее 1 м. Телескопическую антенну испытуемого приемника $А_т$, имеющую максимальную длину l, складывают так, чтобы длина ее выступающей части l_1 не превышала 0,15 м или равнялась длине одного звена антенны. К верхней части сложенной антенны $А_т$ подключают измерительное устройство. Длину антенны измерительного устройства $А_{и.у}$ устанавливают с таким расчетом, чтобы общая длина антенны, образованной частью l_1 антенны $А_т$ и присоединенной антенной $А_{и.у}$, равнялась l. При этом антенна $А_{и.у}$ и часть l_1 антенны $А_т$ должны располагаться на одной прямой. Измеренное значение тока радиопомех в антенне радиовещательного приемника определяется по формуле $I=U+K$, где U — показание измерителя радиопомех, дБ; K — коэффициент калибровки измерительного устройства, дБ.

Глава восьмая

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОСПРИИМЧИВОСТИ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

8.1. ОСНОВНОЙ И ПОБОЧНЫЕ КАНАЛЫ ПРИЕМА

Восприимчивость радиоприемного устройства — его свойство реагировать на радиопомехи, воздействующие через антенну и помимо нее, в том числе через экран, по цепям питания, управления и коммутации [1]. К параметрам, определяющим восприимчивость радиоприемного устройства, следует отнести чувствительность основного и побочных каналов приема, избирательность, нелинейные эффекты блокирования, перекрестных искажений и интермодуляции, а также коэффициенты сетевых радиопомех, электрической индукции и переноса радиопомех.

Основным каналом приема радиоприемника называют полосу частот, находящуюся в полосе пропускания приемника и предназначенную для приема сигнала [1].

Побочные каналы приема составляют полосы частот, находящиеся за пределами основного канала приема радиоприемника, в которых сигнал проходит на выход радиоприемника. К побочным каналам приема относятся каналы, включающие в себя промежуточные, зеркальные, комбинационные частоты и субгармоники частоты настройки приемника.

Для иллюстрации понятия основного канала приема и механизма образования побочных каналов приема на рис. 8.1 приведена характеристика частотной избирательности супергетеродинного радиоприемника по прямому прохождению. Характеристика показывает зависимость уровня измерительного сигнала от его частоты на входе радиоприемника при заданном постоянном уровне выходного сигнала. Из характеристики следует, что основной канал приема радиоприемника со средней частотой f_0 имеет ширину полосы частот на уровне 3 дБ, равную Δf_3, а на уровне 60 дБ — Δf_{60}. Отношение $\Delta f_{60}/\Delta f_3$ называют *коэффициентом прямоугольности* $K_п$ *относительной характеристики частотной избирательности* радиоприемника по уровню 60 дБ, т. е. $K_п=\Delta f_{60}/\Delta f_3$. Для некоторых типов приемников верхнее значение Δf измеряют на уровне 30 дБ, тогда имеем $K_п=\Delta f_{30}/\Delta f_3$ по уровню 30 дБ.

Характеристику частотной избирательности основного канала приема супергетеродинного радиоприемника формируют и определяют в основном узкополосные фильтры каскадов ПЧ, а характеристику приемников прямого усиления — входные контура. Коэффициент прямоугольности считают удовлетворительным при $K_п=2 \dots 4$. Однако к основному каналу приема предъявляются еще ряд требований, не позволяющих добиться указанной величины $K_п$. Поэтому некоторые приемники имеют $K_п \geqslant 8$, что недостаточно для обеспечения высокой избирательности данного радиоприемника.

Основной канал приема оценивают также минимальным уровнем измерительного сигнала с частотой f_0 на входе радиоприемника, который обеспечивает номинальный выходной уровень сигнала при заданном отношении сигнал/шум, резонансным коэффициентом усиления $K_у(f)$ и другими количественными параметрами.

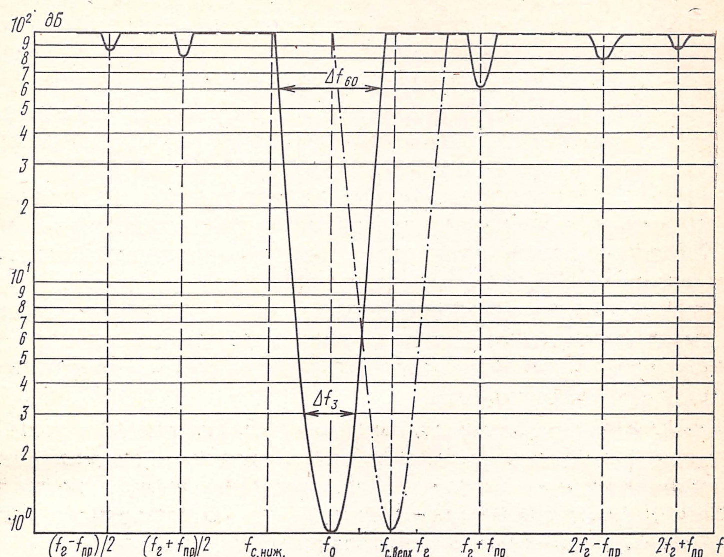


Рис. 8.1. Характеристика односигнальной частотной избирательности супергетеродинного приемника

К побочным каналам относятся (см. рис. 8.1) зеркальный канал, средняя частота которого при верхней настройке гетеродина $f_{зер}=f_г+f_{пр}$, каналы комбинационных частот (например, $f_{комб\,1,\,2}=2f_г\pm f_{пр}$, $f_{комб\,3,\,4}=(f_г\pm f_{пр})/2$ и др.), а также канал приема, средняя частота которого равна промежуточной частоте приемника.

Кроме того, в приемнике различают соседние каналы приема с частотами $f_{с.ниж}$ и $f_{с.верх}$ (см. рис. 8.1), ближайшие к основному каналу приема. Их полосы и средние частоты соответствуют принятому для службы распределению частот.

8.2. ИЗМЕРЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Чувствительность радиоприемника есть его способность обеспечить качественный прием слабых сигналов в отсутствие внешних радиопомех. Количественно чувствительность определяют мощностью или напряжением сигнала на входе радиоприемника, при котором отношение мощности полезного сигнала к мощности шума на выходе детектора или радиоприемника равно заданному значению при номинальном значении выходной мощности.

Обычно чувствительность радиоприемника характеризуют несколькими параметрами, реальной чувствительностью, предельной чувствительностью, чувствительностью, ограниченной усилением или внутренними шумами или помехами.

Реальная чувствительность радиоприемника определяется по значению минимально необходимой мощности или напряжения измерительного сигнала в антенне, при котором обеспечивается требуемое превышение сигналом шума. Это превышение определяется заданной номинальной выходной мощностью или напряжением выходного сигнала радиоприемника. Номинальная мощность выходного сигнала устанавливается для данного радиоприемника в стандартах или технических условиях.

Предельная чувствительность радиоприемника определяется минимальным уровнем входного сигнала радиоприемника, при котором обеспечивается равенство средних мощностей сигнала и шума на выходе ВЧ тракта радиоприемника.

Чувствительность радиоприемника, *ограниченную усилением*, определяют по минимальному уровню входного сигнала, необходимого для получения номинальной выходной мощности (напряжения) радиоприемника.

Чувствительность радиоприемника, *ограниченную помехами*, определяют по минимальному уровню входного сигнала, при котором обеспечивается заданное соотношение между номинальной выходной мощностью (напряжением) и мощностью (напряжением) помех от различных устройств радиоприемника.

В некоторых типах радиоприемников нормируют [46] *максимальную чувствительность*, которую определяют по минимальному уровню входного сигнала, при котором обеспечивается номинальный выходной уровень при максимальном усилении радиоприемника.

Таким образом, измеряют те параметры чувствительности радиоприемников, которые наиболее полно характеризуют их функциональное назначение. Так, в радиовещательных приемниках измеряют нормированные [46] реальную и максимальную чувствительности.

Измерение реальной чувствительности, заданной по напряжению сигнала на эквиваленте антенны, проводят с помощью измерительной установки, структурная схема которой приведена на рис. 8.2*а*.

Генератор Г вырабатывает напряжение испытательного сигнала с несущей частотой, равной частоте настройки приемника, модулированной частотой 1000 Гц с глубиной модуляции 30%.

Эквивалент антенны (рис. 8.2*б*) позволяет получить напряжения и токи на входе приемника, соизмеримые с напряжениями и токами, возникающими под воздействием на реальную внешнюю антенну сигнала, с напряженностью поля E, с подведенным к эквиваленту антенны от ГС напряжением $u_{г.с}$, равным напряженности поля, умноженной на действующую длину данной антенны $h_д$, т. е. $u_{г.с} = Eh_д$.

Полосовой фильтр, настроенный на частоту модуляции 1000 Гц, необходим для выделения напряжения испытательного сигнала.

Полосовой фильтр на 280 ... 14 000 Гц применяют для выделения напряжения шумов в полосе пропускания приемника. Параметры фильтра: затухание вне полосы пропускания на частотах, отличающихся на пол-октавы, не менее 30 дБ, на одну октаву — не менее 50 дБ.

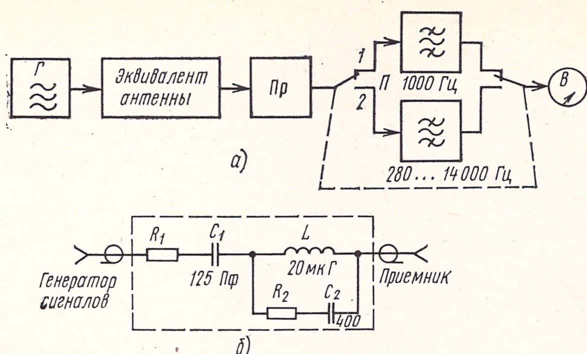


Рис. 8.2. Структурная схема установки для измерения чувствительности приемников (*а*) и принципиальная схема эквивалента антенны (*б*)

Вольтметр квадратичного типа служит для измерения напряжения шума. Полоса пропускания вольтметра 20 ... 20 000 Гц. Основная погрешность не более ±4%.

Измерение проводят в такой последовательности. Настраивают генератор сигнала на измеряемую частоту и формируют испытательный сигнал, устанавливая его напряжение равным нормированной реальной чувствительности приемника. Настраивают приемник на частоту *Г* и устанавливают усиление, обеспечивающее номинальную выходную мощность сигнала. При этом регуляторы тембра высоких и низких частот должны находиться в положении «Максимум» или в положении, обеспечивающем заданную неравномерность частотной характеристики. Регулятор или клавиша «РП—стерео» должны находиться в положении «РП, широкая». Напряжение *Г* изменяют ступенями по 5 ... 10 дБ, начиная с минимального. На каждой ступени измеряют напряжение выходного сигнала $U_с$, подключая к сопротивлению нагрузки приемника переключателем П (положение *1*) полосовой фильтр, пропускающий частоту модуляции сигнала. Затем переключатель П ставят в положение *2*, выключают модуляцию Г и измеряют напряжение шума приемника $U_ш$. По полученным данным строят график (рис. 8.3) зависимости отношения $U_с/U_ш$ от напряжения на входе приемника $U_{вх}$.

Реальную чувствительность приемника отсчитывают при заданном отношении $U_с/U_ш$, равном 20 дБ для приемников, работающих в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ. Для приемников более высоких частот отношение $U_с/U_ш$ установлено [46] равным 26 дБ.

Реальную чувствительность приемников с магнитными антеннами определяют по напряженности поля с помощью генератора

стандартного поля. Для этого в измерительной установке рис. 8.2 исключают генератор сигналов и эквивалент антенны, а необходимую напряженность поля создают с помощью генератора стандартного поля, схема которого приведена на рис. 8.4. Квадратная рамка содержит один виток медного провода диаметром 4,5...5 мм с размерами сторон 380×380 мм. Сопротивление резистора R подбирают равным сопротивлению исключенного при измерении внешнего делителя напряжения генератора сигналов.

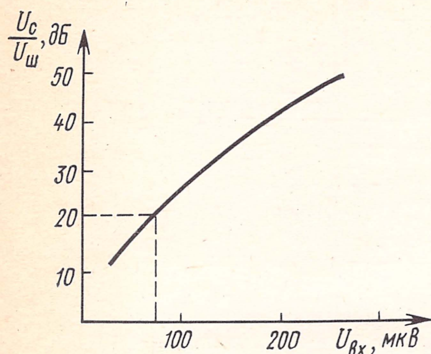


Рис. 8.3. Зависимость отношения сигнал/шум на выходе приемника от напряжения на его входе

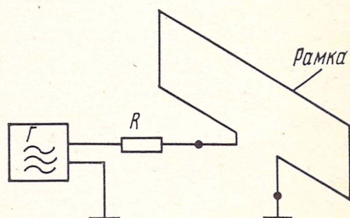


Рис. 8.4. Структурная схема генератора стандартного поля

При проведении измерений рамку генератора стандартного поля устанавливают на расстоянии 1 м от измеряемого приемника. Генератором сигналов создают на частоте измерения напряженность поля испытательного сигнала, равную реальной чувствительности приемника. Измеряемый приемник настраивают на частоту ГС и ориентируют по максимальной напряженности поля. Устанавливают усиление приемника, при котором выходная мощность соответствует номинальной. Измерение напряжений выходного сигнала $U_с$ и шума $U_ш$ проводят ступенями описанным выше методом. На графике рис. 8.3 на оси абсцисс вместо напряжения на входе приемника откладывают напряженность поля E мкВ/м, которую определяют по формуле $E=8U_{г.с}/R$, где $U_{г.с}$ — ЭДС на выходе ГС, мкВ; R — сопротивление резистора генератора стандартного поля, Ом.

Реальную чувствительность приемника с магнитной антенной определяют по построенному графику при заданном отношении сигнал/шум на выходе приемника, как показано на рис. 8.3.

Максимальную чувствительность приемников измеряют при максимальном усилении, т. е. при положении регулятора, соответствующем наибольшей громкости. Положения регуляторов полосы и тембра приемника должны соответствовать узкой полосе. Измерение проводят описанными выше методами, определяя минимально необходимое напряжение на входе приемника или минимальную напряженность поля, при которых обеспечивается номинальная выходная мощность приемника. При этих условиях рассчитывают отношение сигнал/шум в децибелах.

Телевизионные приемники. В телевизионных приемниках черно-белого изображения измеряют [51] чувствительность тракта изображения и чувствительность тракта звукового сопровождения. Для тракта изображения измеряют чувствительность, ограниченную усилением, ограниченную шумами и ограниченную синхронизацией. Измерения проводят с помощью измерительной установки (рис. 8.5), применяя следующие измерительные приборы.

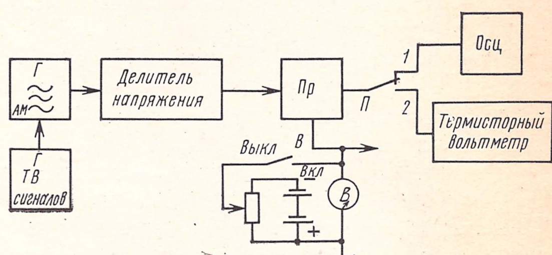


Рис. 8.5. Структурная схема установки для измерения чувствительности тракта изображения телевизионных приемников

1. Генератор телевизионных сигналов с выходным напряжением не менее 1 В при нагрузке 750 Ом должен обеспечить модуляцию сигналом изображения испытательной таблицы, а также полный синхросигнал, не содержащий информации об изображении.

2. Генератор шахматного поля с выходным напряжением не менее 1 В при нагрузке 750 Ом и числом клеток по вертикали, равным 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21, по горизонтали — 4, 8, 12, 20, 24, 28.

3. Ультракоротковолновые генераторы сигналов с амплитудной (УКВ ГСС АМ) и частотной (УКВ ГСС ЧМ) модуляцией, рассчитанной на полосу частот 20...300 МГц, с выходным напряжением сигнала 1,0 мкВ...50 мВ, асимметричным выходом, рассчитанным на нагрузку 750 Ом.

4. Делитель напряжения, обеспечивающий уменьшение в 3 раза выходного напряжения генератора на нагрузке 750 Ом в полосе частот до 300 МГц. Входное и выходное сопротивления делителя равны 75±30 Ом, погрешность — не более ±10%, КСВ входа и выхода не более 1,3.

5. Осциллограф, обеспечивающий измерение размаха сигнала изображения от 0,25 до 150 В с точностью не менее ±10% и чувствительностью вертикального усиления не менее 0,01 В/см.

6. Термисторный вольтметр с фильтром верхних частот, обеспечивающий измерение эффективного напряжения шумов в пределах 30 мВ...10 В в полосе 1 кГц...6 МГц с неравномерностью частотной характеристики не более ±10%.

7. Ламповый вольтметр постоянного тока с выходным сопротивлением не менее 10 МОм и пределом измерения не менее 50 В.

Чувствительность тракта изображения, ограниченную усилением, определяют по напряжению, измеренному на входе приемника, при номинальном напряжении на его выходе. Для этого на вход приемника от УКВ ГСС АМ подают напряжение несущей частоты сигнала изображения, модулированной сигналом, соответствующим испытательной таблице или шахматному полю. Регулятор контрастности приемника устанавливают в положение максимальной контрастности. Напряжение на входе приемника изменяют до получения на выходе канала изображения номинального напряжения. Чувствительность, ограниченную усилением, отсчитывают по выходному напряжению УКВ ГСС АМ.

Чувствительность тракта изображения, ограниченную шумами, определяют с помощью измерительной установки рис. 8.5.

В подготовительной части измерения на вход приемника Пр подают напряжение несущей частоты изображения, модулированное видеосигналом и равное измеренному значению чувствительности, ограниченной усилением. К выходу приемника подключают осциллограф (переключатель устанавливают в положение *1*), измеряющий напряжение видеосигнала на модулирующем электроде кинескопа. В линию АРУ приемника включают высокоомный ламповый вольтметр постоянного тока. Органы усиления видеосигнала приемника устанавливают на максимальное усиление. Выключатель В устанавливают в положение «Выкл». Контролируя осциллографом номинальное напряжение видеосигнала, измеряют напряжение в линии задержки АРУ.

Основную часть измерения проводят в такой последовательности. Включают модуляцию видеосигнала. В линиях задержки АРУ подают от источника постоянного тока напряжение смещения, равное измеренному (ставят переключатель В в положение «Вкл»). Переключатель П ставят в положение *2*. Включают ФНЧ термисторного вольтметра. Напряжение несущей частоты $U_с$ уменьшают в 2 раза. По показанию термисторного вольтметра определяют напряжение шума $U_ш$. Рассчитывают отношение $U_с/U_ш$ в децибелах и фиксируют величину входного сигнала $U_{вх}$. Затем напряжение несущей частоты увеличивают равными ступенями по 5...10 дБ. Регулятором контрастности поддерживают номинальное напряжение на выходе приемника и проводят измерения $U_с$ и $U_ш$ на каждой ступени. По полученным результатам строят график зависимости отношения напряжений сигнала и шума от напряжения на входе (см. рис. 8.3). Чувствительность, ограниченную шумами, отсчитывают по графику при отношении сигнал/шум равным 20 дБ.

Чувствительность тракта изображения, ограниченную синхронизацией, определяют путем снижения ступенями уровня входного сигнала. При этом на каждой ступени ручками управления приемника устанавливают оптимальную синхронизацию. Отмечают минимальное напряжение на входе приемника, при котором не происходит срыва синхронизации по кадрам и строкам, а также выбивания строки или групп строк, передергивания строк или кадров, снижения разрешающей способности по вертикали ниже установленной нормы. Минимальное напряжение на входе приемника, при котором обеспечивается нормальная синхронизация, будет соответствовать чувствительности тракта изображения, ограниченной синхронизацией.

Для тракта звукового сопровождения телевизионных приемников измеряют чувствительность, ограниченную усилением, и чувствительность, ограниченную шумами.

Чувствительность, ограниченную усилением, определяют по минимальному напряжению на входе приемника, при котором обеспечивается номинальное напряжение на звуковой катушке

громкоговорителя. Для этого на вход прогретого и настроенного приемника подают от генератора УКВ ГСС АМ напряжение несущей частоты изображения, модулированное сигналом, а от генератора УКВ ГСС ЧМ напряжение несущей частоты звука, модулированное частотой 1000 Гц с девиацией ±15%. Регуляторы громкости и тембра приемника устанавливают в положение максимального усиления и широкой полосы. Затем выходные напряжения УКВ ГСС АМ и УКВ ГСС ЧМ увеличивают от нуля, сохраняя отношение этих напряжений, равное 2 : 1, до получения на звуковой катушке громкоговорителя номинального напряжения. При этом регулятором контрастности поддерживают номинальное напряжение на модулирующем электроде кинескопа. Напряжение на входе приемника, отсчитанное по аттенюатору УКВ ГСС АМ, будет соответствовать чувствительности тракта звукового сопровождения, ограниченной усилением. При измерениях необходимо контролировать частотомером разностную частоту несущих частот изображения и звука.

Чувствительность тракта звукового сопровождения, ограниченную помехами, определяют по минимальному напряжению на входе приемника, при котором на его выходе обеспечивается номинальное напряжение при заданном уровне помех от сигналов изображения, цепей разверток и источников питания, с помощью измерительной установки (рис. 8.6). В этой схеме частотомером измеряют разность несущих частот изображения и звука. Осциллограф необходим для контроля уровня несущей частоты изображения. Назначение остальных приборов рассмотрено выше.

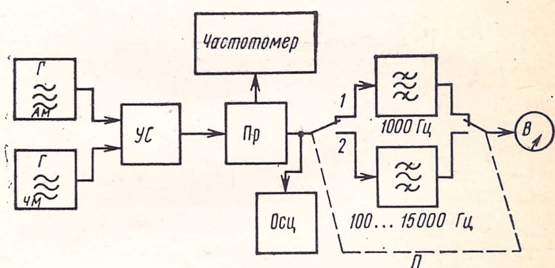


Рис. 8.6. Структурная схема установки для измерения чувствительности тракта звукового сопровождения телевизионных приемников

Измерение проводят в такой последовательности. Регуляторы громкости и тембра, прогретого и настроенного на видеосигнал приемника, устанавливают в положение максимального усиления и широкой полосы. Переключатель П ставят в положение *1*. Напряжения генераторов УКВ ГСС АМ и УКВ ГСС ЧМ увеличивают от нуля до получения номинального напряжения $U_н$ на звуковой катушке громкоговорителя. Регулятором контрастности устанавливают на модулирующем электроде кинескопа номинальное напряжение. Выключают модуляцию несущей частоты 1000 Гц звукового сопровождения, а переключатель П ставят в положение *2*. Измеряют вольтметром напряжение на звуковой катушке громкоговорителя, которое в этом случае будет соответствовать

напряжению помех $U_п$ в тракте звукового сопровождения. Рассчитывают уровень помех $h_п$ по формуле $h_п = 20\lg(U_п/U_н)$.

Выходные напряжения генераторов увеличивают ступенями по 5...10 дБ. При каждых новых уровнях входного напряжения определяют уровень помех $h_п$, как описано выше, поддерживая номинальными напряжения на выходах трактов изображения и звука. Чувствительность, ограниченную помехами, определяют по аттенюатору УКВ ГСС АМ при уровне помех в канале звукового сопровождения, равном допускаемой норме, учитывая при этом ослабление фильтров измерительной установки.

Конверторы диапазона дециметровых волн. Чувствительность конверторов диапазона дециметровых волн определяют [49] по коэффициенту шума, который показывает, во сколько раз необходимо увеличить уровень входного сигнала при увеличении усиления конвертора в 2 раза, чтобы получить одинаковую мощность шума на выходе конвертора.

Коэффициент шума измеряют с помощью измерительной установки (рис. 8.7), в которой в качестве генератора шумового сигнала (ГШС) могут применяться генераторы ГЧ-116 и ГЧ-37А, а в качестве селективного микровольтметра — SMV8.

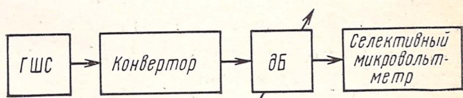


Рис. 8.7. Структурная схема установки для измерения коэффициента шума конверторов

Для проведения измерения настраивают конвертор на среднюю частоту измеряемого канала, а селективный микровольтметр — на среднюю частоту стандартного телевизионного канала выхода конвертора. Настраивают ГШС на среднюю частоту измеряемого канала конвертора и устанавливают выходную мощность, равную нулю. Аттенюатор на выходе конвертора также устанавливают в положение 0 дБ. При этих условиях фиксируют показание селективного микровольтметра.

Затем увеличивают затухание аттенюатора на 3 дБ и увеличивают выходную мощность ГШС до уровня, при котором селективный микровольтметр покажет зафиксированное ранее значение. Величину коэффициента шума отсчитывают по шкале выходного аттенюатора ГШС. Коэффициент шума для конверторов диапазона дециметровых волн установлен равным 12 дБ.

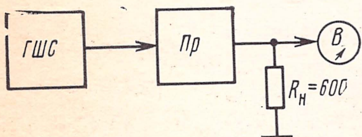


Рис. 8.8. Структурная схема установки для измерения чувствительности приемников магистральной радиосвязи

Приемники магистральной радиосвязи. Чувствительность приемников магистральной радиосвязи определяют [45] по коэффициенту шума с помощью измерительной установки, схема которой приведена на рис. 8.8. Генератор ГШС должен перекрывать весь диапазон испытуемого приемника

Пр и иметь шкалу выходного уровня в децибелах. Измерение проводят на двух частотах каждого поддиапазона приемника.

Перед началом измерения устанавливают по вольтметру переменного тока, подключенному к выходу приемника, уровень собственных шумов приемника, соответствующий номинальному выходному напряжению 1 В. Затем ГШС настраивают на измеряемую частоту приемника и подают на вход приемника такой уровень выходного сигнала шума, при котором показание вольтметра увеличивается в $\sqrt{2}$ раз. Коэффициент шума отсчитывают по шкале выходного аттенюатора ГШС.

Коэффициент шума не должен превышать [45] для приемников с одноконтурным входом 10, 12 и 15 дБ, а в случае входа с полосовым фильтром — 15, 17 и 20 дБ соответственно для приемников магистральной радиосвязи 1, 2 и 3-го классов.

Измерение чувствительности приемников радиостанций подвижных служб проводят с помощью измерительной установки, структурная схема которой приведена на рис. 8.9 [48, 50]. На вход приемника подают испытательный сигнал с уровнем 1 мВ. Модуляцию ГС осуществляют от внутреннего или внешнего низкочастотного генератора. Частоту испытательного сигнала устанавливают с помощью электронно-счетного частотомера. К выходу приемника подключают реальную нагрузку или ее эквивалент. Регулятор шумоподавителя устанавливают в положение, при котором обеспечивается максимальная чувствительность приемника, а при наличии выключателя — выключают шумоподавитель. Выходную мощность приемника с помощью регулятора громкости устанавливают на 0,5 номинального значения. При отсутствии в приемнике регулятора громкости измерение проводят при выходной мощности, которая получается при данном уровне испытательного сигнала.

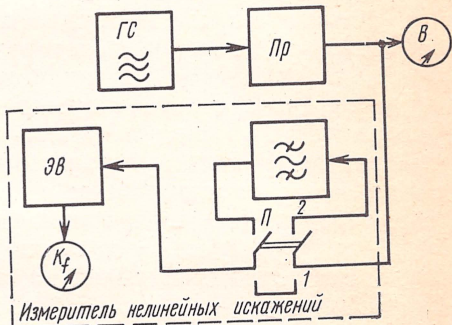


Рис. 8.9. Структурная схема установки для измерения чувствительности приемников радиостанций подвижных служб

Не изменяя положения регулятора громкости, уменьшают уровень входного сигнала примерно в 2 раза и с помощью измерителя нелинейных искажений измеряют отношение сигнал/шум. Измерение проводят при включенном ГС. Измеренное отношение сигнал/шум h определяют по формуле

$$h=\sqrt{U_с^2+U_ш^2+U_и^2}\Big/\sqrt{U_ш^2+U_и^2}, \qquad (8.1)$$

где $U_с$ — напряжение сигнала на выходе приемника, В; $U_ш$ — напряжение собственного шума приемника, В; $U_и$ — напряжение ис-

кажений, возникающее в приемнике при прохождении частотно-модулированного сигнала.

Напряжение $\sqrt{U^2_с+U^2_ш+U^2_и}$ измеряют измерителем нелинейных искажений. Для этого переключатель П ставят в положение *1* и непосредственно по электронному вольтметру ЭВ отсчитывают напряжение $\sqrt{U^2_с+U^2_ш+U^2_и}$. Затем переключатель П ставят в положение *2* и измеряют напряжение $\sqrt{U^2_ш+U^2_и}$. Рассчитывают отношение сигнал/шум в децибелах.

Чувствительность приемника определяют по ЭДС генератора ГС, при котором отношение сигнал/шум, рассчитанное по (8.1), получается равным 12 дБ. Если при измерении значение сигнал/шум получится больше или меньше 12 дБ, то соответственно уменьшают или увеличивают напряжение входного сигнала приемника и повторяют измерение описанным выше методом.

8.3. ИЗМЕРЕНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ

Односигнальный и многосигнальный методы оценки избирательности. Избирательностью радиоприемного устройства называют его способность выделить принимаемый сигнал из всей совокупности составляющих напряженности электромагнитного поля, в котором находится антенна приемника.

Различают несколько видов избирательности. *Пространственная избирательность* реализуется направленными свойствами приемной антенны радиоприемника и направленностью прихода радиоволн. *Временная избирательность* достигается путем дискретной работы радиоприемника: во время поступления на вход приемника радиопомехи он выключается. *Амплитудная избирательность* характеризует способность радиоприемника различать полезный сигнал, поступающий на его вход, с определенным калиброванным уровнем. *Фазовая избирательность* основана на способности радиоприемника реагировать на фазу принимаемого сигнала и фазу радиопомехи.

Перечисленные виды избирательности радиоприемных устройств всегда рассматривают в сочетании с частотной избирательностью.

Характеристика частотной избирательности радиоприемника — это зависимость уровня сигнала на входе радиоприемного устройства от частоты этого сигнала при заданном отношении сигнал/шум или уровне сигнала на выходе радиоприемника. Измерение характеристики частотной избирательности проводится односигнальными или многосигнальными методами [1].

Методом односигнальной избирательности пользуются при оценке избирательной способности радиоприемника, работающего в линейном или близком к линейному режиме. Этот метод дает близкое к действительности представление об ослаблении радиопомех при условии, что одновременное действие помехи и сигнала соответствует сумме действий каждого из них в отдельности. Это условие выполняется в линейном приемнике.

Для более точной оценки избирательности радиоприемника с учетом неизбежных нелинейных процессов, вызываемых одновременным действием на вход радиоприемника полезного сигнала и сигналов радиопомех, применяют многосигнальные методы оценки частотной избирательности радиоприемника. При этом частоты сигналов радиопомех могут совпадать или не совпадать с частотами основного и побочных каналов приема радиоприемника, а уровни радиопомех могут достигать таких значений, при которых в приемнике возникают нелинейные процессы блокирования, перекрестных искажений и интермодуляции.

Блокирование в радиоприемнике — изменение уровня сигнала или отношения сигнал/шум на выходе радиоприемника при действии радиопомехи, частота которой не совпадает с частотами основного и побочных каналов приема радиоприемника [1]. Для определения допустимой количественной величины радиопомехи введен коэффициент блокирования $K_{бл}$, за который принято отношение задаваемой разности уровней сигнала на выходе радиоприемника при отсутствии и при наличии радиопомехи на входе к уровню этого сигнала при отсутствии радиопомехи $K_{бл}=\frac{U_{вых}-U_{вых.бл}}{U_{вых}}$, где $U_{вых}$, $U_{вых.бл}$ — амплитуды напряжения сигнала на выходе радиоприемника при отсутствии и при наличии радиопомехи соответственно.

Обычно задаваемая разность $U_{вых}—U_{вых.бл}$ составляет 3 или 6 дБ, что соответствует $K_{бл}=0{,}3$ или 0,5. При отсутствии блокирования $K_{бл}=0$, а при полном блокировании $K_{бл}=1$.

Иными словами, при блокировании под воздействием радиопомехи, частота которой не совпадает с частотой побочных каналов приема, снижается усиление радиоприемника. Очевидно, что чем больше уровень радиопомехи или чем ближе частота радиопомехи к частоте настройки радиоприемника, тем сильнее проявляется эффект блокирования.

Характеристику частотной избирательности радиоприемника по блокированию определяют при заданном коэффициенте блокирования и наличии полезного сигнала с уровнем, равным чувствительности радиоприемника. Она представляет собой график зависимости уровня сигнала радиопомехи от его частоты на входе радиоприемника.

Параметром, характеризующим относительную частотную избирательность радиоприемника по блокированию, является динамический диапазон радиоприемника по блокированию $D_{бл}$. Он определяется как отношение уровня радиопомехи $U_{п.вх}$ на входе к уровню полезного сигнала $U_{с.вх}$, равному чувствительности радиоприемника, при заданных коэффициенте блокирования и частотной расстройке сигнала радиопомехи $\Delta f_{раст}$ по отношению к средней частоте основного канала приема радиоприемника: $D_{бл}=20\lg(U_{п.вх}/U_{с.вх})$.

Динамический диапазон по блокированию в соседнем канале для некоторых типов радиоприемников установлен государствен-

ными стандартами [45, 48, 50] равным 60...80 дБ. На магистральные радиоприемники ГОСТ 14633—76 устанавливает абсолютный уровень блокирующей радиопомехи при ее отстройке на ±20 кГц не менее 60...90 дБ мкВ (в зависимости от класса радиоприемника) и при отстройке радиопомехи на ±6% не менее 130 дБ мкВ.

Перекрестное искажение — изменение структуры спектра сигнала на выходе радиоприемника при действии сигнала и модулированной радиопомехи, частота которой не совпадает с частотами основного и побочных каналов приема радиоприемников [1]. Образование паразитных составляющих в спектре выходного сигнала происходит в результате взаимодействия полезного сигнала и модулированной радиопомехи на нелинейных элементах ВЧ тракта радиоприемника.

Количественно перекрестные искажения выражают коэффициентом перекрестных искажений, характеристикой частотной избирательности по перекрестным искажениям или динамическим диапазоном по перекрестным искажениям.

Коэффициент перекрестных искажений $K_{пер}$ в радиоприемнике — отношение уровня спектральных составляющих $U_{вых.пер}$, возникших в результате перекрестных искажений, к уровню сигнала на выходе радиоприемника $U_{вых}$ при заданных параметрах радиопомехи и сигнала: $K_{пер}=U_{вых.пер}/U_{вых}$.

Характеристика частотной избирательности радиоприемника *по перекрестным искажениям* измеряется при заданном коэффициенте перекрестных искажений. Она представляет собой зависимость уровня модулированной радиопомехи от частоты на входе радиоприемника.

Динамический диапазон радиоприемника *по перекрестным* искажениям определяется как отношение уровня модулированной радиопомехи на входе радиоприемника к уровню полезного сигнала, равному величине чувствительности радиоприемника, при заданном коэффициенте перекрестных искажений и частотной расстройке сигнала модулированной радиопомехи по отношению к средней частоте основного канала приема.

В радиоприемниках обычно нормированы параметры или по блокированию, или по перекрестным искажениям.

Интермодуляция в радиоприемнике — возникновение помех на выходе радиоприемника при действии на его входе двух или более сигналов радиопомех, частоты которых не совпадают с частотами основного и побочных каналов приема радиоприемника [1]. Интермодуляция возникает вследствие взаимодействия на нелинейных элементах нескольких сигналов радиопомех ($f_{п1}$, $f_{п2}$, ..., $f_{пn}$). В результате этого взаимодействия получается сигнал помехи с частотой, равной промежуточной частоте $f_{пр}$ ($f_{п1} \pm f_{п2} = f_{пр}$) или частоте настройки радиоприемника f_0 (например, $f_{п1}+f_{п2}=f_0$).

Коэффициент интермодуляции в радиоприемнике $K_{инт}$ есть отшение уровня помехи, возникшей в результате интермодуляции в радиоприемнике, к уровню сигнала, соответствующему чувствитель-

ности радиоприемника, определенных на выходе радиоприемника: $K_{инт} = U_{вых.инт}/U_{вых}$, где $U_{вых.инт}$ — уровень радиопомехи, вызванной интермодуляцией; $U_{вых}$ — номинальный уровень сигнала на выходе радиоприемника.

Характеристика частотной избирательности радиоприемника *по интермодуляции* представляет собой зависимость заданных по величине сигналов на входе радиоприемника, создающих интермодуляцию в радиоприемнике, от частоты одного из них при заданном коэффициенте интермодуляции в радиоприемнике.

Отношение численного значения характеристики частотной избирательности по интермодуляции на частотах возникновения интермодуляции к минимальному значению входного сигнала, соответствующему чувствительности радиоприемника, называют динамическим диапазоном радиоприемника по интермодуляции. Его значение установлено [45, 48, 50] равным 60...70 дБ при $K_{инт} = 0{,}5$.

Таким образом, частотную избирательность радиоприемников измеряют в зависимости от того, как она задана, односигнальными или многосигнальными методами. В некоторых типах приемников частотную избирательность нормируют и измеряют односигнальными и многосигнальными методами.

Односигнальные методы. Измерение параметров частотной избирательности радиоприемников односигнальным методом проводят с помощью измерительной установки, структурная схема которой приведена на рис. 8.10. Генератор сигналов $Г_1$ должен перекрывать диапазон испытуемого приемника Пр при измерении параметров в рабочей полосе частот радиоприемника и иметь диапазон перестройки от $0{,}5f_н$ до $(8...10)f_в$, где $f_н$ — нижняя граница, а $f_в$ — верхняя граница диапазона радиоприемника, при измерении параметров избирательности в широкой полосе частот. Эту полосу частот, как правило, перекрывают несколькими генераторами. Генератор сигналов должен иметь также выходную мощность $P_{г.вых} = P_{min} \cdot 10^{0{,}1 \cdot (x+\delta)}$, где P_{min} — чувствительность измеряемого приемника; x — наибольшее нормированное значение неосновных каналов приема, дБ; δ — затухание в линии, соединяющей выход генератора сигналов со входом приемника, дБ.

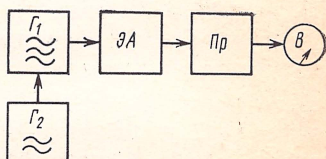


Рис. 8.10. Структурная схема установки для измерения избирательности приемников односигнальным методом

Кроме того, генератор должен иметь внутреннюю модуляцию измерительного сигнала частотой 1000 Гц с глубиной модуляции 30% или, как показано на рис. 8.10, модуляцию измерительного сигнала осуществляют генератором низкой частоты $Г_2$.

Измерительный сигнал подается на вход радиоприемника через эквивалент антенны ЭА. Выходное напряжение испытуемого приемника измеряют с помощью вольтметра.

Как следует из предыдущего параграфа, для измерения избирательности радиоприемника по соседним и побочным каналам приема односигнальным методом необходимо определить номинальное входное напряжение $U_{вх.ном}$, при котором обеспечивается номинальное выходное напряжение по основному каналу приема, а также напряжение на частоте измеряемого неосновного канала приема $U_{вх.н.о}$, при котором обеспечивается данное номинальное выходное напряжение $U_{вых.ном}$.

Для этого настраивают генератор $Г_1$ на частоту основного канала приема, включают модуляцию измерительного сигнала и устанавливают выходной сигнал генератора $Г_1$ равным чувствительности радиоприеминка $U_{вх.ном}$. Затем устанавливают такое усиление радиоприемника, при котором обеспечивается номинальное выходное напряжение $U_{вых.ном}$. Зафиксировав величину этого напряжения с помощью вольтметра и не изменяя усиления и ширины полосы пропускания радиоприемника, настраивают генератор $Г_1$ на частоту измеряемого побочного канала приема. Увеличивают выходную мощность генератора $Г_1$ до значения, при котором установится зафиксированное номинальное напряжение $U_{вых.ном}$, и при этом определяют напряжение генератора $Г_1$ $U_{вх.н.о}$. Избирательность приемника σ рассчитывают по формуле $\sigma = 20 \lg(U_{вх.н.о}/U_{вх.ном})$.

Измерение частотной избирательности односигнальным методом проводят [47, 51] при определенных гостированных условиях в зависимости от типа радиоприемника. В радиовещательных приемниках этим методом измеряют избирательность по соседним каналам приема, а в телевизионных приемниках — избирательность по соседним, зеркальному и каналу промежуточной частоты.

Измерение избирательности радиовещательных трактов по соседнему каналу проводят с помощью измерительной установки, схема которой приведена на рис. 8.10.

Приемник Пр настраивают на частоту генератора сигналов и устанавливают напряжение входа $U_н$, равное номинальному. Регулятор тембра устанавливают в положение «Минимальное», а регулятор ширины полосы — в положение «Широкая». Регулятором усиления устанавливают номинальное выходное напряжение и фиксируют его величину вольтметром.

Далее, не изменяя настройки приемника, перестраивают генератор сигналов $Г_1$ на 9 (10) кГц в обе стороны от частоты настройки приемника и аттенюатором ГС АМ устанавливают напряжение на входе приемника $U_{вх\,1}$, при котором на выходе установится номинальное зафиксированное напряжение. Таким же методом измеряют напряжение на входе приемника $U_{вх\,2}$ другого соседнего канала. Избирательность приемника по соседним каналам приема отсчитывают по шкале аттенюатора ГС в децибелах или рассчитывают по его выходному напряжению как отношение напряжения при расстройке на 9 (10) кГц к напряжению при точной настройке, выраженное в децибелах, т. е.

$$\left.\begin{aligned}\sigma_1 &= 20\lg(U_{\text{вх}\,1}/U_{\text{н}}),\\ \sigma_2 &= 20\lg(U_{\text{вх}\,2}/U_{\text{н}}).\end{aligned}\right\} \tag{8.2}$$

Аналогичным методом измеряют избирательность телевизионных приемников по соседним телевизионным каналам, зеркальному каналу и каналу, частота которого равна промежуточной частоте приемника. Для этого на вход приемника подают от УКВ ГСС АМ напряжение несущей изображения, модулированное видеосигналом, и производят настройку приемника. Измерение проводят при входном напряжении, равном чувствительности канала изображения, ограниченной усилением (см. § 8.2). Действующее напряжение на выходе приемника измеряют вольтметром, а полный размах — осциллографом. Регулятором контрастности устанавливают номинальное напряжение на выходе приемника. При каждой перестройке УКВ ГСС АМ настройка приемника не изменяется.

После установки номинального напряжения на выходе приемника измеряют напряжение смещения в линии АРУ. Затем отключают напряжение АРУ, а от источника постоянного тока в линию АРУ подают смещение, равное измеренному ранее. Схема подачи такого напряжения приведена на рис. 8.5. Частоту изображения модулируют синусоидальным напряжением 1000 Гц с глубиной модуляции 50%. Напряжение на входе приемника уменьшают до получения на катоде кинескопа напряжения на 12 дБ ниже номинального. Фиксируют входное напряжение приемника.

Перестраивают УКВ ГСС АМ сначала в сторону увеличения частоты, а затем в сторону уменьшения на 1...2 МГц так, чтобы были перекрыты частоты соседних телевизионных каналов. Напряжение на модулирующем электроде кинескопа после каждой новой перестройки частоты поддерживают неизменным, увеличивая входное напряжение сигнала от УКВ ГСС АМ. Фиксируют при каждой перестройке напряжения на входе приемника $U_{\text{вх}\,1}$ и $U_{\text{вх}\,2}$.

Избирательность приемника σ рассчитывают по (8.2) как отношение уровня входного сигнала на частоте соседнего канала $U_{\text{вх}\,1}$, $U_{\text{вх}\,2}$ к уровню входного сигнала $U_{\text{н}}$: $\sigma_1 = 20\lg(U_{\text{вх}\,1}/U_{\text{н}})$, $\sigma_2 = 20\lg(U_{\text{вх}\,2}/U_{\text{н}})$.

Аналогичным методом определяют избирательность приемника по зеркальному каналу и по каналу промежуточной частоты. На основе полученных результатов строится график (рис. 8.11) зависимости отношения входного напряжения от частоты при постоянном выходном напряжении. График дает наглядное представление о характеристике частотной избирательности приемника. Он позволяет также определить относительную чувствительность каналов побочного приема.

Односигнальными методами измеряют также ослабление помех по зеркальному и другим неосновным каналам приема, а также по каналу промежуточной частоты приемников магистраль-

ной радиосвязи. Методы измерений этих параметров не отличаются от рассмотренных методов измерения параметров радиовещательных и телевизионных приемников.

Многосигнальные методы. Частотную избирательность радиовещательных приемников по соседнему и побочным каналам приема, а также динамический диапазон по перекрестным искажениям измеряют двухсигнальным методом с помощью измерительной установки, структурная схема которой приведена на рис. 8.12.

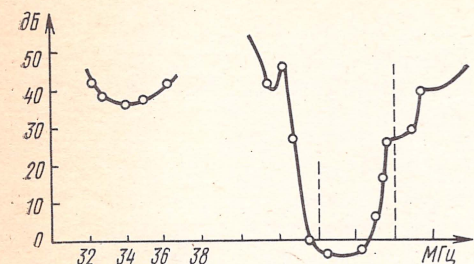


Рис. 8.11. График избирательности телевизионных приемников односигнальным методом

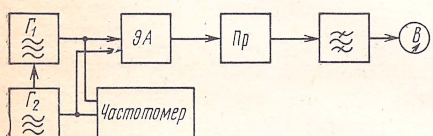


Рис. 8.12. Структурная схема установки для измерения избирательности приемников двухсигнальным методом

Генераторы измерительных сигналов $Г_1$ и $Г_2$ выбирают с учетом перекрытия частот испытуемого приемника и его неосновных каналов приема. Несущие частоты измерительных сигналов модулируются частотой 1000 Гц с глубиной модуляции 30% при измерении параметров АМ приемников и 80% при измерении параметров ЧМ приемников. Уровни выходных измерительных сигналов должны быть не менее 120 дБмкВ и 60 дБпВт.

С помощью частотомера измеряют разность частот измерительных сигналов. На выходе приемника включен полосовой фильтр, который необходим для устранения влияния фона на результат измерений. Затухание фильтра в полосе прозрачности следует учитывать при проведении измерения.

Во время проведения измерения переключатель тембра высоких частот должен находиться в положении «Макс», низких — в положении «Мин», регулятор полосы — в положении «Узкая».

При измерении частотной избирательности приемника по соседнему каналу приема разность частот генераторов сигналов $Г_1$ и $Г_2$ поддерживают равной 9 кГц. Генератор $Г_1$ имитирует полезный сигнал, на который настроен приемник. Выходное напряжение $Г_1$ устанавливают таким, чтобы на входе приемника напряжение $U_{вх.н}$ было равно чувствительности приемника. Регулятором громкости приемника устанавливают номинальное выходное напряжение $U_{вых.н}$. Фиксируют показание вольтметра и дальнейшие измерения проводят, не изменяя регулировок приемника.

Выключают модуляцию генератора $Г_1$ и включают ее на генераторе сигналов $Г_2$, который имитирует сигнал радиопомехи, расстроенной по частоте на 9 кГц относительно частоты настройки приемника. Увеличивают уровень радиопомехи так, чтобы на вы-

ходе приемника установилось напряжение на 20 дБ ниже зафиксированного номинального. Далее необходимо проверить, что модуляция радиопомехи не оказывает влияния на показание вольтметра. Для этого снимают модуляцию с генератора $Г_2$ и включают ее на генераторе $Г_1$, при этом показание вольтметра не должно изменяться. Если показание вольтметра изменяется, следует регулятором громкости приемника довести выходной уровень до номинального $U_{вых.н}$.

В таком положении фиксируют напряжения сигналов радиопомехи $U_п$ полезного сигнала $U_с$ генераторов $Г_1$ и $Г_2$ соответственно.

Динамический диапазон избирательности приемника по соседнему каналу $D_{с.к}$ рассчитывают по формуле $D_{с.к}=20\lg(U_п/U_с)$. Измерение повторяют при настройке генератора сигналов $Г_2$ на другой соседний канал приема. За окончательный результат принимают наименьшее измеренное значение $D_{с.к}$.

Аналогично измеряют частотную избирательность, полученную двухсигнальным методом по зеркальному и другим побочным каналам приема радиоприемника.

Следует отметить, что в тех случаях, когда требуется проверить частотную избирательность радиоприемника двухсигнальным методом на соответствие установленным нормам, напряжение выхода генератора радиопомехи $Г_2$ устанавливают соответствующим норме. Например, при норме частотной избирательности радиоприемника по соседнему каналу, равной 80 дБ, и чувствительности радиоприемника, равной 100 мкВ, генератор $Г_2$ должен иметь выходное напряжение, равное 120 дБмкВ. Если при этом напряжении генератора $Г_2$ выходное напряжение изменилось не более чем на 20 дБ, то радиоприемник соответствует установленной норме на частотную избирательность по данному побочному каналу приема.

При измерении уровня перекрестных искажений радиовещательных приемников напряжение генератора $Г_1$ (см. рис. 8.12), модулированное напряжением с частотой 1000 Гц при глубине модуляции 30%, устанавливают равным 80 дБмкВ в полосах диапазонов НЧ, СЧ, ВЧ и 30 дБмВт в полосе диапазона ОВЧ. Настраивают испытуемый приемник на частоту генератора $Г_1$ и устанавливают его усиление так, чтобы мощность на выходе была номинальной. При этом регуляторы тембра приемника должны находиться в положении «Минимальное», а ширина полосы — «Широкая».

После настройки приемника снимают модуляцию с генератора $Г_1$ и включают генератор $Г_2$, имитирующий сигнал помехи. Уровень мешающего сигнала, модулированного по амплитуде напряжением с частотой 1000 Гц при глубине модуляции 30% в режиме приема АМ сигналов и 80% в режиме ЧМ, устанавливают соответственно равным 100 дБмкВ и 60 дБпВт. Частоту генератора $Г_2$ измеряют в пределах 9...50 кГц в диапазоне НЧ, 9...200 кГц в диапазоне СЧ, 9...500 кГц в диапазоне ВЧ и

1 ... 5 МГц в диапазоне ОВЧ в обе стороны относительно настройки приемника. В этих пределах отсчитывают частоту, на которой сигнал помехи оказывает на приемник наибольшее воздействие. На этой частоте уровень напряжения мешающего сигнала увеличивают до получения выходной мощности, на 20 дБ ниже номинальной, установленной при настройке приемника. Необходимо убедиться в том, что помеха в приемнике вызвана перекрестными искажениями. Для этого выключают сигнал помехи и проверяют номинальную выходную мощность приемника.

Уровень перекрестных искажений $\sigma_{п.и}$ определяют отношением мешающего сигнала $U_п$ к напряжению полезного сигнала U_c: $\sigma_{п.и} = 20 \lg (U_п/U_c)$. Двухсигнальными методами измеряют частотную избирательность телевизионных приемников с синхронным детектором по ПЧ и зеркальному каналу. Измерение проводят с помощью измерительной установки (рис. 8.13).

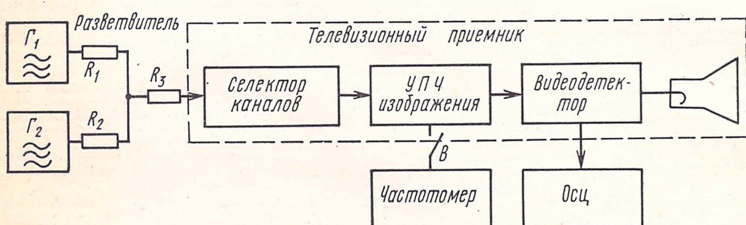


Рис. 8.13. Структурная схема установки для измерения избирательности телевизионных приемников двухсигнальным методом

Измерение избирательности по ПЧ проводят в низкочастотных каналах каждого диапазона волн. Для этого с генератора сигналов $Г_1$ через разветвитель подают на вход приемника напряжение несущей частоты изображения, равное 1 мВ. Настраивают приемник, для чего ручкой настройки гетеродина устанавливают по частотомеру, подключенному к тракту ПЧ, номинальную частоту изображения 38 МГц (для диапазона метровых волн). Частотомер выключают.

Включают модуляцию несущей частоты изображения генератора $Г_1$ сигналом «белое поле» с глубиной, равной 87,5%. Не изменяя частоты настройки генератора $Г_1$ и положения ручек регулировок приемника, подают на его вход немодулированное напряжение несущей частоты с генератора $Г_2$, настроенного на частоту, отличную от частоты генератора $Г_1$ на 50 ... 100 кГц. С помощью осциллографа устанавливают на нагрузке видеодетектора напряжение на 12 ... 20 дБ меньше размаха от черного до белого при включенном ограничении сигнала. По шкале аттенюатора генератора $Г_2$ отмечают значение входного напряжения $U_{вх\,1}$, поддерживая его постоянным при дальнейших измерениях.

Перестраивают частоту генератора $Г_2$ в полосе ПЧ 31,25 ... ... 39,25 МГц. Увеличивают выходной уровень сигнала генератора

Г$_2$ до 10 мВ. Изменяя частоту генератора Г$_2$ в указанной полосе, отмечают частоту, на которой получается максимальная амплитуда биений на нагрузке синхронного детектора, что соответствует минимальной избирательности. Затем на этой частоте изменяют уровень напряжения генератора Г$_2$ до получения ранее зафиксированной амплитуды биений на нагрузке детектора. По выходной шкале аттенюатора генератора Г$_2$ отмечают значение напряжения на входе приемника $U_{вх\,2}$. Для устранения ограничения сигнала в каскадах УПЧ сигнала изображения изменяют уровень срабатывания АРУ.

Избирательность приемника по ПЧ определяют по формуле $\sigma_{пр} = 20\lg(U_{вх\,2}/U_{вх\,1})$. Измерение избирательности по зеркальному каналу проводят на 12-м телевизионном канале. Для этого переключают приемник на 12-й канал и настраивают так же, как при измерении избирательности по ПЧ.

Не изменяя настройки приемника и генератора Г$_1$, подают на вход приемника с генератора Г$_2$ немодулированное напряжение несущей частоты сигнала изображения 12-го канала, регулируя его уровень так, чтобы размах напряжения частоты биений на нагрузке видеодетектора был на 12...20 дБ меньше размаха от черного до белого. По выходному напряжению генератора Г$_2$ отмечают напряжение на входе приемника $U_{вх\,3}$, принимая его за исходную величину и поддерживая его постоянным при проведении дальнейших измерений. Настраивают генератор Г$_2$ на частоту зеркального канала $f_з = f_{12\,к} + (2f_{пр} \pm 100$ кГц$)$, где $f_{12\,к}$ — несущая частота сигнала изображения 12-го канала, равная 223,25 МГц.

Уровень напряжения сигнала изменяют до получения размаха напряжения частоты биений на нагрузке видеодетектора, зафиксированного ранее. По выходному напряжению генератора Г$_2$ определяют напряжение на входе приемника $U_{вх\,4}$.

Избирательность приемника по зеркальному каналу вычисляют по формуле $\sigma_з = 20\lg(U_{вх\,4}/U_{вх\,3})$.

Двухсигнальными методами измеряют [45] блокирование, интермодуляцию и внутриполосную взаимную модуляцию приемников магистральной радиосвязи. Измерение проводят с помощью измерительной установки (рис. 8.14) при номинальном уровне выходного сигнала в линию, равном 0 дБ, что соответствует напряжению 0,775 В при нагрузке $R_н = 600$ Ом или стандартной мощности сигнала 1 мВт.

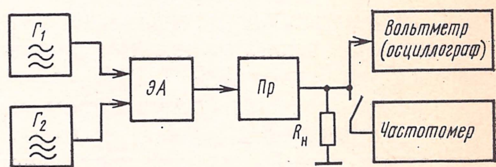


Рис. 8.14. Структурная схема установки для измерения избирательности приемников магистральной радиосвязи двухсигнальным методом

Уровень блокирующей помехи измеряют при расстройке генератора помехи на ±20 кГц. Генератор $Г_1$, имитирующий полезный сигнал, настраивают на частоту измерения и устанавливают выходной уровень, равный 10 мкВ. В испытуемом приемнике регулятором громкости устанавливают номинальный выходной уровень сигнала. Включают генератор $Г_2$ и его частоту устанавливают на 20 кГц выше частоты генератора $Г_1$. Увеличивают выходной уровень помехи (генератор $Г_2$) до тех пор, пока уровень сигнала на выходе приемника не уменьшится на 3 дБ. Фиксируют значение выходного уровня генератора $Г_2$. Затем повторяют измерение при настройке генератора $Г_2$ на частоту 20 кГц ниже частоты генератора $Г_1$.

Уровень блокирующей помехи определяют в децибелах по одному из наименьших значений выходных уровней генератора $Г_2$ относительно 1 мкВ.

По ГОСТ 14663—76 уровень блокирующей помехи при отстройке ±20 кГц должен быть не менее 90, 70 и 60 дБмкВ соответственно для приемников 1, 2 и 3-го классов.

При измерении уровня помех, вызывающих интермодуляцию, сначала настраивают приемник на частоту генератора $Г_1$ и с его помощью устанавливают напряжение на входе приемника, равное 10 мкВ. Устанавливают номинальный выходной сигнал приемника. Затем с помощью генераторов $Г_1$ и $Г_2$ имитируют помехи, частоты которых после преобразования равны частоте настройки приемника $f_н$ или промежуточной частоте $f_{пр}$. Для этого используют комбинации частот генераторов $Г_1$ и $Г_2$: $f_1 \pm f_2 = f_{пр}$; $f_1 + f_2 = f_н$; $2f_1 - f_2 = f_н$; $2f_2 - f_1 = f_н$. Настраивают генератор $Г_1$ на частоту f_1, а $Г_2$ — на частоту f_2 каждой комбинации и устанавливают одинаковые выходные уровни. Увеличивают уровни помех на входе приемника до тех пор, пока уровень выходного сигнала не достигнет ранее установленного номинального значения.

Допустимый уровень интермодуляции определяют по значению выходного уровня генераторов $Г_1$ и $Г_2$, наименьшему из всех вариантов комбинаций $f_н$ и $f_{пр}$, в децибелах относительно 1 мкВ. Уровень помех, вызывающих перекрестную модуляцию, установлен ГОСТ [45] не менее 80, 66 и 60 дБмкВ для приемников соответственно 1, 2 и 3-го классов.

Измерение внутриполосной взаимной модуляции проводят на измерительной установке, показанной на рис. 8.14, используя осциллограф и частотомер. Измерения проводят при включенном АРУ приемника.

Выходные напряжения генераторов $Г_1$ и $Г_2$ устанавливают равными 500 мкВ и настраивают генераторы так, чтобы на низкочастотном выходе приемника в канале верхней боковой полосы установились частоты $f_1 = 1200$ и $f_2 = 1900$ Гц. После этого выключают генератор $Г_2$ и регулятором усиления приемника устанавливают напряжение на его выходе, равное 1 В. Затем выключают генератор $Г_1$ и включают генератор $Г_2$, убеждаясь в том,

что напряжение этого генератора с частотой 1900 Гц на выходе приемника также равно 1 В.

Включают оба генератора Γ_1 и Γ_2 и анализатором спектра измеряют напряжение комбинационных частот 500 и 2600 Гц: $2f_1-f_2=500$ Гц; $2f_2-f_1=2600$ Гц.

Уровень внутриполосной взаимной модуляции определяют как отношение напряжения комбинационной составляющей, имеющей максимальный уровень, к напряжению одного из двух тонов в децибелах. По ГОСТ [45] внутриполосная взаимная модуляция не должна превышать —40 и —30 дБ для приемников 1 и 2-го классов. Для приемников 3-го класса нормирован коэффициент гармоник, который не должен превышать 10%.

Двухсигнальными методами измеряют избирательность по соседнему и другим каналам побочного приема приемников радиостанций подвижных служб с угловой модуляцией [48, 50]. Структурная схема измерительной установки приведена на рис. 8.15.

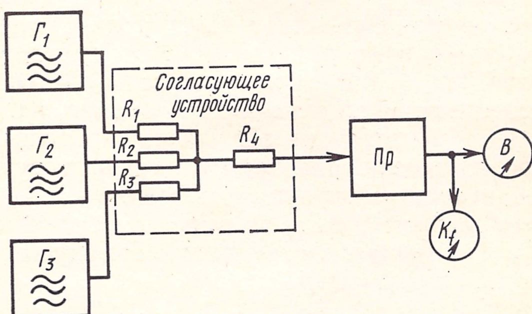


Рис. 8.15. Структурная схема установки для измерения избирательности приемников трехсигнальным методом

В данной установке используют два генератора: Γ_1 и Γ_2. Согласующее устройство для двух генераторов составляют следующие параметры: $R_1=R_2=R_3=R_4=17$ Ом для коаксиальных линий с волновым сопротивлением 50 Ом и 25 Ом для коаксиальных линий с волновым сопротивлением 75 Ом.

Сначала на вход приемника от генератора Γ_1 (генератор Γ_2 выключен) подают на частоте настройки приемника испытательный сигнал, модулированный частотой 1000 Гц. Уровень испытательного сигнала U_1 устанавливают таким, чтобы отношение сигнал/шум на выходе приемника стало равным 12 дБ (см. § 8.2).

Включают генератор помехи Γ_2 и настраивают его частоту, модулированную частотой 400 Гц с девиацией, равной 0,6 максимальной, на частоту соседнего канала. Уровень U_2 генератора Γ_2 устанавливают таким, чтобы отношение сигнал/шум на выходе приемника стало равным 6 дБ. Избирательность по соседнему каналу $\sigma_{с.к}$ определяют по формуле $\sigma_{с.к}=20\lg(U_2/U_1)$.

Аналогичным методом измеряют избирательность приемника по другим каналам побочного приема. Для этого генератор помехи $Г_2$ настраивают на частоту, равную промежуточной частоте приемника $f_{пр}$, на частоту зеркального канала $f_з=f_c+2f_{пр}$ при нижней и $f_з=f_c+2f_{пр}$ при верхней настройке гетеродина приемника; на частоты $f_c \pm f_{пр}/2$; комбинационные частоты $f_c = -\pm \frac{m}{n} f_{гет} \pm \frac{1}{n} f_{пр}$ (где f_c — частота настройки приемника; $f_{гет}$ — частота гетеродина приемника, $m=0, 1, 2, \ldots$; $n=1, 2, \ldots$).

Интермодуляционную избирательность приемников радиостанций подвижных служб измеряют трехсигнальным методом с помощью измерительной установки рис. 8.15. Параметры согласующего устройства в этом случае должны быть равны: $R_1=R_2=R_3=R_4=25$ Ом для коаксиальных линий с волновым сопротивлением 50 Ом и 37,5 Ом для линий с волновым сопротивлением 75 Ом.

Подготовительную часть измерения проводят, как и в предыдущих случаях, с использованием генератора $Г_1$, настроенного на частоту основного канала приемника. Немодулированный генератор $Г_2$ настраивают на частоту соседнего, а $Г_3$ — на частоту ближайшего к соседнему каналов. Одновременно на обоих генераторах помех $Г_2$ и $Г_3$ увеличивают уровни выходных сигналов до тех пор, пока отношение сигнал/шум, контролируемое по вольтметру и измерителем нелинейных искажений на выходе приемника, не станет равным 6 дБ. Фиксируют выходное напряжение U_2 $Г_2$ или $Г_3$. Избирательность при интермодуляции $\sigma_{ин}$ рассчитывают по формуле $\sigma_{ин}=10 \lg 2U_2^2/U_1^2$.

8.4. ВОСПРИИМЧИВОСТЬ К ИНДУСТРИАЛЬНЫМ РАДИОПОМЕХАМ

Восприимчивость приемника к индустриальным радиопомехам, распространяющимся по сети питания, характеризуется внутренней связью между цепями питания и входными устройствами приемника. Количественно она определяется коэффициентом сетевых помех K_c, равным отношению этих помех в сети питания к напряжению этих же помех на входе приемника, при условии, что оба напряжения создают на выходе приемника одинаковое напряжение.

Измерение коэффициента сетевых помех АМ приемников проводят с помощью измерительной установки, схема которой приведена на рис. 8.16. В установке применяют Δ-образный эквивалент сети ЭС (см. § 6.4), высокоомный вольтметр переменного тока, генератор сигналов, перекрывающий диапазон испытуемого приемника с внутренней или внешней модуляцией выходного сигнала с напряжением 1 мВ ... 0,1 В и погрешностью установки частоты не более 0,5 дБ.

Испытуемый приемник ИПр располагают на изолированной подставке, расположенной на высоте 0,8 м над металлическим листом (экраном) размером 1×2 м. Сетевой шнур приемника

экранируют в металлической трубе, которую соединяют с одного конца с экраном эквивалента сети, а с другого — с шасси приемника вблизи места сетевого ввода.

Переключатель П измерительной установки ставят в положение *1—1*. Настраивают ГС и приемник на частоту измерения и подают от ГС на вход приемника напряжение сигнала, модулированного напряжением с частотой 400 Гц при глубине модуляции 30%, равное номинальному напряжению $U_н$. Регулятором громкости устанавливают усиление, при котором на выходе приемника создается номинальное выходное напряжение $U_{вых.н}$, контролируемое вольтметром.

Затем переключатель П ставят в положение *2—2*, подключая тем самым на вход приемника эквивалент антенны ЭА, а выход ГС — к клемме «Измеритель радиопомех» эквивалента сети. Не изменяя положения ручек настройки приемника, увеличивают напряжение сигнала на входе приемника так, чтобы выходное напряжение установилось равным $U_{вых.н}$. При этом фиксируют напряжение $U_с$ выхода ГС.

Коэффициент сетевых помех определяют по формуле

$$K_{с.п} = 20 \lg (U_с/U_н).$$

При измерении коэффициента сетевых помех ЧМ приемников напряжение ГС модулируют напряжением с частотой 1000 Гц при девиации 15 кГц. Вместо эквивалента сети (см. рис. 8.16) применяют сетевой фильтр СР, схема которого приведена на рис. 8.17.

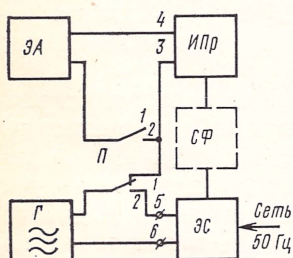


Рис. 8.16. Структурная схема установки для измерения параметров восприимчивости к индустриальным радиопомехам

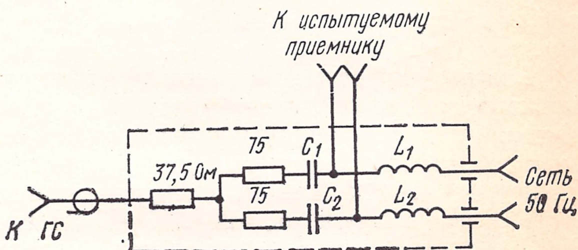


Рис. 8.17. Принципиальная схема сетевого фильтра, применяемого в измерительной установке рис. 8.16 вместо эквивалента сети

Если приемник ЧМ вещания имеет несимметричное входное сопротивление 75 Ом, то ГС подключают непосредственно ко входу приемника. При симметричном входном сопротивлении приемника, равном 260 ... 300 Ом, ГС подключают через согласующее устройство (рис. 8.18).

Измерение проводят ранее рассмотренным методом, добавляя в расчетной формуле поправку, равную затуханию согласующего

устройства, $K_п = 6$ дБ (если оно применяется при измерении):

$$K_{с.п} = 20\lg(U_с/U_н) + K_п. \quad (8.3$$

При измерении коэффициента сетевых помех телевизионных приемников на его вход подают от ГС сигнал несущей частоты изображения, модулированной напряжением 1000 Гц при глубине модуляции 50%. Вольтметр подключают к катоду кинескопа.

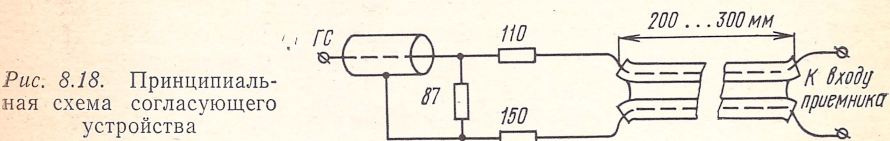


Рис. 8.18. Принципиальная схема согласующего устройства

Настраивают телевизионный приемник на один из неработающих каналов, устанавливая ручку «Контрастность» на максимальное усиление. Регулируют напряжение ГС на входе приемника так, чтобы на выходе установилось номинальное выходное напряжение $U_{вых.н}$. Фиксируют напряжение на входе приемника $U_с$. Затем переключатель П (см. рис. 8.16) ставят в положение *2—2* и уровень напряжения сигнала регулируют до получения на катоде кинескопа напряжения на 12 дБ ниже номинального. Коэффициент сетевых помех определяют по (8.3).

Нормами [52] значение коэффициента сетевых помех установлено равным 60 дБ для радиовещательных приемников, работающих в полосе частот 150...1605 кГц, и 50 дБмкВ для остальных приемников. Для телевизионных приемников I и II каналов коэффициент переноса сетевых помех составляет 55 дБмкВ, а для приемников III—XII каналов — 45 дБмкВ.

Восприимчивость приемника к электрической индукции характеризуется напряжением, наводимым источниками индустриальных радиопомех между корпусом приемника и землей. Количественно восприимчивость приемника к электрической индукции выражается коэффициентом электрической индукции $K_э$ и определяется по формуле $K_э = 20\lg(U_э/U_{вх})$, где $U_э$ — напряжение помех, наводимое между зажимами «корпус—земля», $U_{вх}$ — напряжение на входе приемника.

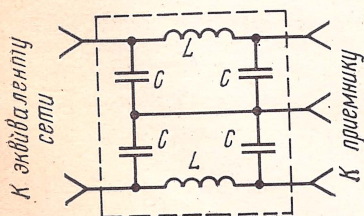


Рис. 8.19. Принципиальная схема дополнительного сетевого фильтра, применяемого в установке рис. 8.16 при измерении сетевых радиопомех

Коэффициент электрической индукции измеряют только на длинноволновых поддиапазонах АМ приемников, используя для этой цели измерительную установку рис. 8.16. Сетевой шнур приемника не экранируют. В сеть питания приемника вводится дополнительный фильтр (рис. 8.19), который подключают к эквиваленту сети. Измерение проводят аналогично измерениям коэф-

фициента сетевых помех АМ приемников. Метод измерения рассмотрен в начале параграфа.

8.5. ИЗМЕРЕНИЕ ВОСПРИИМЧИВОСТИ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

В заключение необходимо остановится на восприимчивости к индустриальным радиопомехам антенно-фидерных устройств (АФУ) коллективного пользования. Радиопомехи от различных электроустройств могут проникать в радиоприемники благодаря связи АФУ с источниками радиопомех.

Правильно сконструированное и выполненное АФУ обладает потенциальной восприимчивостью, которая характеризуется минимальным отношением сигнал/помеха. Количественной оценкой характеристики восприимчивости является коэффициент помехозащищенности АФУ $K_{АФУ}$, который определяют по формуле

$$K_{АФУ} = h_д + K_А, \quad (8.4)$$

где $K_{АФУ}$ — коэффициент помехозащищенности АФУ, дБ; $h_д$ — действующая длина антенны, дБ/м; $K_А$ — коэффициент переноса радиопомех, дБ.

Из приведенной формулы вытекает, что невосприимчивость АФУ к индустриальным радиопомехам достигается увеличением действующей длины антенны $h_д$ и экранированием ее фидера от непосредственного воздействия индустриальных радиопомех. При этом реальную действующую высоту антенны определяют по напряженности поля в месте расположения антенны и напряжению на выходе фидера антенны: $h_д = 20\lg(U_0/E_0)$, где U_0 — напряжение на выходе фидера антенны, В; E_0 — напряженность поля, В/м.

Коэффициент переноса радиопомех $K_А$ определяют по формуле $K_А = 20\lg(U_{с.п}/U_р)$, где $U_{с.п}$ — напряжение радиопомехи на розетке сети питания, В; $U_р$ — напряжение радиопомехи на абонентской антенной розетке или штыре антенного кабеля, В.

Коэффициент восприимчивости АФУ нормирован [52] и составляет 60, 55 и 65 дБмкВ в полосах частот 0,15 ... 1,605; 1,605 ... 30; 30 ... 300 МГц соответственно для радиовещательных приемников и 65 ... 70 дБмкВ для телевизионных приемников.

Как следует из (8.4), измерение восприимчивости АФУ включает в себя два этапа: измерение реальной действующей длины антенны $h_д$ и измерение коэффициента переноса радиопомех $K_А$.

Для определения реальной действующей длины антенны необходимо измерить напряженность поля E_0 вблизи испытуемой антенны и напряжение радиопомех на выходе фидера U_0. Методы измерения напряженности поля рассмотрены в гл. 3. Напряжение радиопомех измеряют на абонентской розетке, к которой подключен радиоприемник, или на штыре антенного кабеля телевизионного приемника с помощью измерителя радиопомех. Измерения E_0 и U_0 проводят на частоте приема полезного сигнала.

Для измерения коэффициента переноса помех K_A применяют генератор сигналов и измеритель радиопомех. Генератор сигналов подключают к одной из сетевых розеток и настраивают на частоту приема полезного сигнала. Он должен развивать на нагрузке 10 Ом выходное напряжение $U_{с.п}$ не менее 10 В. Измеритель радиопомех подключают поочередно к нескольким антенным розеткам или штырям антенного кабеля. В каждой точке на частоте приема полезного сигнала измеряют напряжение помех от генератора сигналов $U_р$. Коэффициент переноса радиопомех рассчитывают по (8.4). Окончательный вывод о восприимчивости АФУ делают на основе расчета статистических характеристик. Для этого определяют среднее значение $\bar{K}$ измеренных величин и среднеквадратичное отклонение $S_к$ для n проведенных измерений.

Среднее значение K ансамбля случайных величин K_1, K_2, ..., K_i, ..., K_n рассчитывают по формуле $\bar{K}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}K_i$, где под n при измерении $h_д$ понимают число точек, в которых измеряют U_0; при измерении K_A — число различных вариаций подключения измерителя радиопомех и генератора сигналов к абонентским и сетевым генераторам соответственно.

Среднеквадратичное отклонение $S_к$ рассчитывают по формуле:

$$S_к=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(K_i-\bar{K})^2}.$$

Среднее значение $\bar{K}_{АФУ}$ и среднеквадратичное отклонение $S_{к\,АФУ}$ рассчитывают по следующим формулам:

$$\bar{K}_{АФУ}=\bar{K}_А+\bar{h}_д;$$

$$S_{к\,АФУ}=\sqrt{S^2_{к\,А}+S^2_{h_д}}.$$

Восприимчивость АФУ будет соответствовать установленной норме, если $\bar{K}_А-0{,}84S_{к\,АФУ}\geqslant N$, где N — норма на восприимчивость АФУ, дБ.

КЛАССЫ ОСНОВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ, ИХ ОБОЗНАЧЕНИЕ И ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА $B_к$ и $B_н$

Класс излучения	Обозначение по Рекомендации 507 МККР		Ширина необходимой полосы $B_н$	Ширина контрольной полосы частот $B_к$
	Основной символ	Дополнительный символ		
1	2	3	4	5
I. Амплитудная модуляция				
Телеграфия, незатухающие колебания, A1	A1A A1B	AN	$B_н = 5B$	$B_к = B_н$
Тональная телеграфия, одна боковая полоса частот, подавленная несущая, A2J	J2A J2B	AN	$B_н = 5B$	$B_к = B_н$
Радиовещание, две боковые полосы частот, A3	A3E	GN	$B_н = 2F_в$	$B_к = 1{,}2\,B_н$
Радиовещание, одна боковая полоса частот, ослабленная несущая, A3A	R3E	GN	$B_н = F_в$	$B_к = 1{,}15\,B_н$
Телефония, одна боковая полоса частот, ослабленная несущая, A3A	R3E	JN	$B_н = F_в$	$B_к = 1{,}15\,B_н^*$ $B_к = 1{,}2\,B_н^{**}$
Радиовещание и телефония на двух (четырех) независимых полосах частот, ослабленная или подавленная несущая, A3B	B8E	GN JF	$B_н = 2F_в$ $B_н = 4F_в$	$B_к = 1{,}05\,B_н$
Телефония, одна боковая полоса частот, подавленная несущая, A3J	J3E	JN	$B_н = F_в - F_н$	$B_к = 1{,}15\,B_н^*$ $B_к = 1{,}2\,B_н^{**}$

1	2	3	4	5
Факсимиле с модуляцией сигнала несущей частотой, поднесущей, одна боковая полоса частот, ослабленная несущая, А4А	R3C	XN	$B_н = F_н + 1{,}5\,F_в$	$B_к = B_н + F_в$
Многоканальная тональная телеграфия, одна боковая полоса частот, подавленная несущая, А7J	J7B	WF	$B_н = F_в - F_н$	$B_к = 1{,}2\,B_н$
Сложное излучение в двух независимых полосах частот, подавленная при ослаблении несущая, А9В	B9W	WF	$B_н = 2\,F_в$	$B_к = 1{,}1\,B_н$
II. Частотная модуляция				
Телеграфия, F1	F1A F1B	AN	$B_н=2{,}6\,Д+0{,}55\,B$ для $1{,}5\leqslant m<5{,}5$; $B_н=2{,}1\,Д+1{,}9\,B$ для $5{,}5\leqslant m\leqslant 20$; $B_н=2Д+5B$ для $m>20$	$B_к=4{,}3\sqrt{m}\,B$ для $1{,}5\leqslant m<5{,}5$; $B_к=(m+7)\,B$ для $5{,}5\leqslant m\leqslant 20$
Радиовещание, F3	F3E	GN	$B_н = 2\,Д + 2\,F_в$	$B_к = 1{,}15\,B_н$
Телефония, F3	F3E	JN KN	$B_н = 2{,}4\,Д + 2\,F_в$	$B_к = B_н$
Аналоговое факсимиле, F4	F3C	XN	$B_н = (2\,m + 1{,}7)\,F_в$	$B_к = 1{,}45\,B_н$
Четырехчастотная двухканальная телеграфия, F6	F7B	ДX	$B_н = 2{,}2\,Д + 2\,B$	$B_к = B_н$
III. Импульсная модуляция				
Немодулированная импульсная несущая, P0	PON	XN	$B_н = 0{,}86/\theta\tau$	$B_к = 41{,}9\,\theta\sqrt{\tau}\,B_н$ для $\tau \leqslant 0{,}5$; $B_к = 29{,}1\,\theta\,B_н$ для $\tau > 0{,}5$

* Для передатчиков фиксированной службы.

** Для передатчиков подвижных служб.

Обозначения: $B_н$ — необходимая ширина полосы, Гц; $B_к$ — ширина контрольной полосы частот, Гц; B — скорость телеграфирования, Бод; $F_в$ — максимальная частота модуляции, Гц; $F_н$ — минимальная частота модуляции, Гц; D — максимальная девиация частоты, Гц; m — индекс частотной модуляции (манипуляции), Гц; τ — длительность импульса, мкс; θ — относительное время установления телеграфного сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ** 23611—79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
2. **Общесоюзные** нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные спектры излучений радиопередающих устройств гражданского назначения. М.: Связь, 1976. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
3. **Харкевич А. А.** Спектры и анализ. М.: Гос. изд-во техн.-теор. лит., 1967.
4. **Гуревич М. С.** Спектры радиосигналов. М.: Связь, 1963.
5. **Князев А. Д., Пчелкин В. Ф.** Проблемы обеспечения совместной работы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1971.
6. **Зудакин А. И., Ильина Н. Н., Павлюк А. П.** Новая система определений спектральных характеристик радиоизлучений, перспективы их нормирования и измерения. — Электросвязь, 1971, № 6, с. 17—21.
7. **Михайлов В. А., Павлюк А. П., Тузков Е. Г.** Прибор для измерения ширины полосы частот, излучений радиоприемников. — Электросвязь, 1973, № 7, с. 24—27.
8. **Павлюк А. П.** Методы и устройства для измерения ширины занимаемой полосы частот радиоизлучений. Обзорная информация о зарубежной технике. Вып. 4. М.: 1969. 82 с. (М-во связи СССР).
9. **Radio Regulations.** Published by the General Secretariat of the International Telecommunsation Union. Geneva, 1976.
10. **Общесоюзные** нормы на уровни побочных излучений радиопередатчиков всех категорий и назначений (гражданских образцов). М.: Связь, 1972. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
11. **Мирский Г. Я.** Радиоэлектронные измерения. М.: Энергия, 1975.
12. **Кушнир Ф. В., Савенко В. Г.** Электрорадиоизмерения. М.: Энергия, 1975.
13. **Валитов Р. А., Сретенский В. И.** Радиотехнические измерения. М.: Сов. радио, 1970.
14. **Указания** по производству и приемке монтажных работ при строительстве передающих и приемных радиостанций. Вып. 5. М.: Связь, 1975. В надзаг.: Мин. связи СССР, Главсвязьстрой.
15. ITU CCJR. Recomendations and Reports of the CCJR XIV th Plenary Assembly. Vol. I. Kioto, 1978.
16. **Измерение** мощности побочных излучений КВ передатчиков/Куликов А. Д. и др. — Вестник связи, 1977, № 19, с. 18—21.
17. **Общесоюзные** нормы на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков всех категорий и назначений. М.: Связь, 1975. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
18. **Гаврилов Ю. С.** и др. Справочник по радиоизмерительным приборам. М.: Энергия, 1976.
19. **Временные** нормы на уровни боковых и заднего лепестков диаграмм направленности в горизонтальной плоскости стационарных передающих декаметровых антенн, используемых для радиосвязи и радиовещания. М.: Изд. Мин. связи СССР, 1969. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
20. **Комплект** приборов для настройки антенн типа КИНА. М.: Связь, 1961. В надзаг.: Гл. управление промышленных предприятий Мин. связи СССР.
21. **Сорокин И. М.** Основы радиоизмерительной техники. М.: Энергия, 1976.
22. **Марков Г. Т., Сазонов Д. М.** Антенны. М.: Энергия, 1975.
23. **Драбкин А. Л., Зузенко В. П., Кислов А. Г.** Антенно-фидерные устройства. М.: Сов. радио, 1974.
24. **Указания** по производству и приемке монтажных работ при строительстве передающих и приемных радиостанций. Вып. 7. Настройка и измерения параметров антенн. М.: Связь, 1973. В надзаг.: Мин. связи СССР, Главсвязьстрой.
25. **Гейн Э. Э., Курганов Л. С.** Техника измерения напряженности поля радиоволн. М.: Связь, 1967.
26. **Общесоюзные** нормы допускаемых индустриальных радиопомех (Нормы 1-72—9-72). М.: Связь, 1973.
27. **Общесоюзные** нормы допускаемых индустриальных радиопомех. **Телеви-**

зионные и УКВ ЧМ радиовещательные приемники. Допускаемые величины. Методы испытаний (Нормы 10-74). М.: Изд. Мин. связи СССР, 1974. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
28. **Общесоюзные** нормы допускаемых индустриальных радиопомех. Радиовещательные приемники с амплитудной модуляцией. Допускаемые величины. Методы испытаний (Нормы 12-76). М.: Связь, 1977. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
29. **Общесоюзные** нормы допускаемых индустриальных радиопомех. Аппаратура и оборудование, устанавливаемые совместно со служебными радиоприемными устройствами гражданского назначения. Допускаемые величины. Методы испытаний. М.: Изд. Мин. связи СССР, 1978. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
30. **ГОСТ** 14777—76. Радиопомехи индустриальные. Термины и определения.
31. **ГОСТ** 17822—78. Устройства с двигателями внутреннего сгорания. Нормы и методы испытаний на индустриальные помехи.
32. **ГОСТ** 22012—76. Радиопомехи индустриальные. Линии электропередач и электрические подстанции. Нормы и методы измерений.
33. **ГОСТ** 21177—75. Радиопомехи индустриальные от светильников с люминесцентными лампами. Нормы и методы испытаний.
34. **ГОСТ** 16842—76. Радиопомехи индустриальные. Общие методы испытаний источников радиопомех.
35. **Общесоюзные** нормы допускаемых индустриальных радиопомех в полосе частот 300—1000 МГц (Нормы 1А-77, 3А-77, 5А-77, 6А-77). М.: Связь, 1978. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
36. **ГОСТ** 11001—80. Приборы для измерения индустриальных радиопомех. Технические требования и методы испытаний.
37. **ГОСТ** 14762—69. Радиопомехи индустриальные. Эквиваленты сети.
38. **Измерители** радиопомех/Под ред. И. А. Фастовского. М.: Связь, 1973.
39. **Селективный** микровольтметр и измеритель радиопомех 0,1—30 МГц. Описание. VEB Messelekomronik, Berlin.
40. **Антенна** для измерения напряженности поля помех. РМА 6.2. Описание. VEB Messelekomronik, Berlin.
41. **Селективный** микровольтметр и измеритель напряженности поля SMV. Описание. VEB Messelekomronik, Berlin.
42. **Антенны** ДР1, ДР3, LPAI. Описание. VEB Messelekomronik, Berlin.
43. **Чистяков Н. И., Сидоров В. М.** Радиоприемные устройства. М.: Связь, 1974.
44. **Голубев В. Н.** Частотная избирательность радиоприемников АМ сигналов. М.: Связь, 1970.
45. **ГОСТ** 14663—76. Устройства приемные магистральной КВ радиосвязи. Классы. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений.
46. **ГОСТ** 5651—76. Приемники радиовещательные. Основные параметры. Технические требования.
47. **ГОСТ** 9783—79. Приемники радиовещательные. Методы электрических и акустических измерений.
48. **ГОСТ** 12252—77. Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений.
49. **Общесоюзные** нормы на избирательность телевизионных приемников (по промежуточной частоте и зеркальному каналу) и на избирательность и коэффициент шума конверторов дециметрового диапазона волн (Нормы 14-77). М.: Изд. Мин. связи СССР, 1977. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
50. **ГОСТ** 22580—77. Радиостанции с угловой модуляцией морской подвижной службы. Типы. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений.
51. **ГОСТ** 9021—78. Приемники телевизионные черно-белого изображения. Методы электрических, оптических и акустических измерений.
52. **Общесоюзные** нормы помехозащищенности приемных устройств радиовещания и телевидения от индустриальных радиопомех. Допускаемые величины. Методы испытаний. М. :Изд. Мин. связи СССР, 1974. В надзаг.: Государственная комиссия по радиочастотам СССР.
53 **Радиопередающие** устройства/Под ред. Б. П. Терентьева. М.: Связь, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

75 к.



ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭМС РЭС